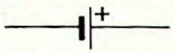
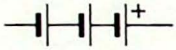
Heinz Richter

Elektrotechnik für Jungen (und Jung-gebliebene)

Eine Einführung durch Selbstbau und Experimente, die jedem gelingen.
13., völlig neu bearbeitete Auflage

TELEKOSMOS ELEKTRONIK

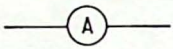

galvanisches Element, Akkuzelle


Batterie

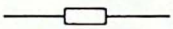
Lampe, allgemein

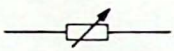
Meßinstrument, allgemein

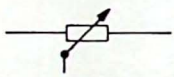
Spannungsmesser

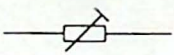


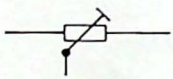
Strommesser


Widerstand, allgemein

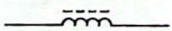

Widerstand, einstellbar

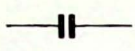

Potentiometer

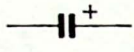

Trimmwiderstand


Trimmpotentiometer

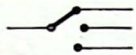
Spule, allgemein


Spule mit HF-Eisen- bzw. mit Ferrit-Kern


Kondensator


Elektrolyt-Kondensator

Schalter

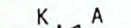

Stufenschalter

Taster mit Arbeitskontakt

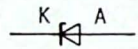
Taster mit Ruhekontakt

Transformator, Übertrager

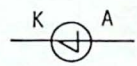
Glimmlampe



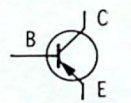
Diode



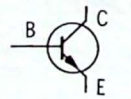
Z-Diode



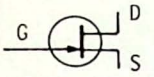
Vierschichtdiode



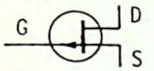
pnp-Transistor



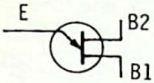
npn-Transistor



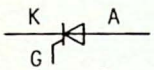
n-Kanal-FET



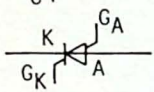
p-Kanal-FET



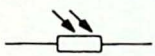
Unijunction-Transistor

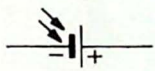


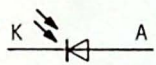
Thyristor



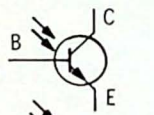
Thyristor-Tetrode


Fotowiderstand

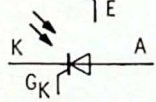

Fotoelement



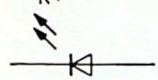
Fotodiode

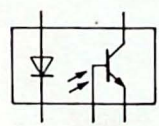


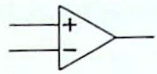
Fototransistor



Fotothyristor

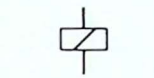

Lu nineszenz-diode

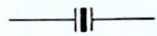

Fotokoppler


Operations-verstärker

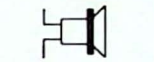
Feinsicherung

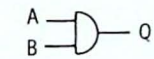
Masseanschluß


Relaiswicklung

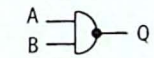

Quarz

Kopfhörer

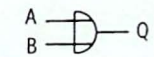

Lautsprecher



UND-Gatter

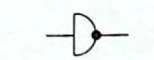


NAND-Gatter



ODER-Gatter

NOR-Gatter


Inverter

Elektrotechnik für Jungen
(und Junggebliebene)

Heinz Richter

Elektrotechnik für Jungen (und Junggebliebene)

Eine Einführung durch Selbstbau und Experimente, die jedem gelingen

13., völlig neu bearbeitete Auflage

Telekosmos-Verlag
Franckh'sche Verlagshandlung
Stuttgart

Mit 30 Fotos (Verfasser und C. Datz 27, Kosmos-Archiv 3) auf 16 Seiten Tafeln und 92 Zeichnungen (nach Entwürfen des Verfassers und C. Datz von H.-H. Kropf).

Umschlaggestaltung von Edgar Dambacher unter Verwendung einer Aufnahme von E. Zeyher

Völlig neu bearbeitet von C. Datz und M. Richter

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Richter, Heinz:
Elektrotechnik für Jungen (und Junggebliebene) : e. Einf. durch Selbstbau u. Experimente, d. jedem gelingen / Heinz Richter. [Völlig neu bearb. von C. Datz u. M. Richter]. – 13., völlig neu bearb. Aufl. – Stuttgart : Telekosmos-Verlag Franckh, 1982.
ISBN 3-440-05124-2
NE: Datz, Carl [Bearb.]

13. Auflage/105.–112. Tausend
Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart/1982
Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.
© 1952, 1964, 1970, 1975, 1982, Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart
Printed in Germany/Imprimé en Allemagne/L 17 PA Hschu/ISBN 3-440-05124-2
Gesamtherstellung: Brönner & Daentler KG, Eichstätt

Elektrotechnik für Jungen (und Junggebliebene)

Einleitung 9

1. Was ist Elektrizität? 11

2. Wahrnehmbare elektrische Erscheinungen ohne künstliche Hilfsmittel 14
2.1 Optische Wirkungen 14
2.2 Akustische Wirkungen 15
2.3 Wirkungen auf den Geschmacks- und Geruchssinn 16
2.4 Wirkungen über Gefühlsnervenreizung 16

3. Wahrnehmbare elektrische Erscheinungen durch umformende Hilfsmittel 17
3.1 Optische Wirkungen 17
3.2 Akustische Wirkungen 20
3.3 Wärmewirkungen 21
3.4 Mechanische Wirkungen 23
3.5 Magnetische Wirkungen 24
3.6 Chemische Wirkungen 26

4. Elektrotechnische Arbeitspraxis 28
4.1 Werkzeuge 29
4.2 Rohstoffe 32
4.3 Elektrotechnische Einzelteile 36
4.4 Klebetechnik 38
4.5 Kleben von Metallen – eine feine Sache 39
4.6 Richtig löten 40

5. Die wichtigsten elektrotechnischen Grundlagen 43
5.1 Strom – Spannung – Widerstand 43
5.2 Elektrische Leistung und elektrische Arbeit 48

6. Stromquellen 49
6.1 Galvanische Elemente 49
6.2 Trockenbatterien 53
6.3 Akkumulatoren oder Sammler 57
6.4 Nickel-Cadmium-Akkumulatoren 62
6.5 Unser Lichtnetz als Stromquelle 63

7. Wann Hochspannung und wann Starkstrom? 66

8. Das Schaltbild und die Bauteilebeschaffung 74

9. Leitungsprüfer 75
9.1 Ein Leitungsprüfer mit LED-Anzeige 75
9.2 Ein Leitungsprüfer mit Relaissteuerung 79

10. Ein Leitungssucher 81

11. Ein Stromversorgungsgerät 84

12. Ein Ladegleichrichter 99

13. Widerstände und elektrische Wärme 102
13.1 Was Widerstände sind 102
13.2 Ein Netzspannungsregler 110
13.3 Ein Thermoschalter 113

14. Schalter, Verteiler, Sicherungen 121
14.1 Bedeutung 121
14.2 Sicherungstypen 123
14.3 Berührungsspannung – Fehlerspannung 124
14.4 Eine Schaltuhr – provisorisch – aber sie funktioniert 125
14.5 Ein Verteilerkästchen für kleine Spannungen und schwache Ströme 127

15. Elektrisches Licht 129
15.1 Was ist Licht? 129
15.2 Wie entsteht elektrisches Licht? 130

15.3 Licht und Temperatur 131
15.4 Glühlampen in Reihe und parallel geschaltet 131
15.5 Licht geht um die Ecke 134
15.6 Der stroboskopische Effekt 136
15.7 Licht erzeugt Strom 143
15.8 Mit Licht kann man auch steuern 146
15.9 Bau einer Lichtschranke 148

16. Magnetismus und Elektromagnetismus 153
16.1 Magnete durch Ströme 153
16.2 Dauermagnete 154
16.3 Elektromagnete 157
16.4 Relais 162

17. Wirkungsweise von Dynamomaschinen und Elektromotoren 167

18. Spiel und Arbeit 175
18.1 Ein Kompaß 175
18.2 Der Wagnersche Hammer 178
18.3 Der Bau eines Läutwerks 180
18.4 Ein praktisches Mikrofon 185

19. Elektrische Meßinstrumente 192
19.1 Das Drehspulsystem 192
19.2 Das Dreheisensystem 193
19.3 Meßbereichserweiterung durch Vorwiderstände 194
19.4 Meßbereichserweiterung durch Parallelwiderstände 195

20. Interessante Versuche im Niederspannungsbereich 198

21. Spannungswandler 202
21.1 Spannungswandler für eine Batteriespannung von 1,5 Volt 203
21.2 50 Hz-Sinusgenerator 12 V/220 V, 15 W 206

22. Kniffe für die Elektrizität im Haushalt 213
22.1 Ein LED-Blinker 213

22.2 Wenn die dritte Leitung fehlt 214
22.3 Superschneller Batterieersatz 216

Bezugsquellenverzeichnis 217

Sachregister 219

Einleitung

Dieses Buch hat eine nicht alltägliche Vorgeschichte.
Ein zwölfjähriger Junge erhält zu Weihnachten ein Bastelbuch, die »Kleine Elektrotechnik für Jungen«, geschenkt. Es enthält hauptsächlich Baubeschreibungen von einfachen elektrischen Geräten und fesselnde Darstellungen bedeutender elektrischer Erfindungen. Dieses Buch kommt dem schon frühzeitig an allem Technischen interessierten kleinen Knirps gerade recht. Er vertieft sich in die Beschreibungen und beginnt mit ziemlichem Ungeschick, aber großer Liebe und Begeisterung, den Nachbau der Geräte.
Er lernt aus Erfolg und Mißerfolg. Das Buch weckt sein technisches Interesse in solchem Maße, daß es seine spätere Berufswahl bestimmt; er wird Elektroingenieur.
Etwa 12 Jahre später wird dieser junge Mann bei dem Versuch, einen technischen Artikel zu veröffentlichen, durch Zufall mit dem Verfasser des Bastelbuches aus seiner Kinderzeit, W. De Haas (Hanns Günther) bekannt. Es entwickelt sich eine außerordentlich fruchtbare Zusammenarbeit, die ihren Niederschlag vor allem in der gemeinsamen Herausgabe von mehrbändigen funktechnischen Werken findet. Der persönliche Kontakt mit einem der damals erfolgreichsten Autoren populären technischen Schrifttums beeinflußt somit das Berufsleben des jungen Ingenieurs zum zweiten Male in entscheidender Weise. Er lernt Dinge, die den meisten Ingenieuren in den Laboratorien und sonstigen Arbeitsstätten gewöhnlich verschlossen bleiben.
Der Autor der hier vorliegenden »Elektrotechnik für Jungen« war der kleine Junge von damals. Er wurde gebeten, das alte Bastelbuch neu zu bearbeiten, da es dem ursprünglichen Verfasser hierfür an Zeit fehlte. Der Autor ist dieser Bitte gerne nachgekommen, und es entstand mit tatkräftiger Unterstützung seines langjährigen Mitarbeiters Carl Datz ein völlig neues Buch.
Unser Buch soll allen aufgeweckten und technisch interessierten Jungen ein erster Führer durch das große und aussichtsreiche Gebiet der Elektrizität sein, wobei als Grundsatz gilt, daß nicht nur das Lesen, sondern

vor allem die praktische Beschäftigung mit technischen Dingen den Weg zum wirklichen Verstehen erst richtig freigibt. Auch mancher Erwachsene wird sich, wenn er ein begeisterter Bastler ist, mit unserem Buch gern und nutzbringend beschäftigen. Wie es am besten verwertet wird, davon wird im ersten Abschnitt ausführlich gesprochen.

Die nach der Währungsreform erstmalig erschienene Neubearbeitung der »Elektrotechnik für Jungen« fand bei unseren Lesern einen so großen Anklang, daß bis heute 13 Neuauflagen erscheinen konnten. Daß Basteln und Experimentieren bei Jugendlichen ein reges Interesse findet, bestätigt die immer größer werdende Leserzahl. Verlag und Verfasser waren bemüht, das Buch von Auflage zu Auflage ständig dem technischen Fortschritt anzupassen. Die hier vorliegende 13. Auflage wurde völlig neu bearbeitet. Anfragen und Anregungen, die den Verlag, den Verfasser und seine Mitarbeiter erreichten, wurden dankbar aufgegriffen und bei der Neuauflage berücksichtigt.

Das Kapitel »Was ist Elektrizität?« wurde diesmal recht ausführlich behandelt, weil diese Frage den Jugendlichen sehr interessiert und weil sie von den Vätern oft nur ungenügend beantwortet werden kann. Breiten Raum nimmt auch die elektrotechnische Arbeitspraxis ein. Es ist wichtig zu wissen, welche Werkzeuge es gibt, wie Bauteile beschaffen sind und wie man richtig lötet. Viele folgen dem modernen Trend zu Bausätzen mit den dazugehörenden Leiterplatten. Aber häufig mißlingt dem Anfänger die Arbeit, weil er die Schaltungen löttechnisch nicht fertigstellen kann. Deshalb werden auch elektrotechnische Grundbegriffe, die manchen unbekannt sind und die andere als willkommene Wiederholung ansehen, ausführlich erläutert.

Der Leser wird in diesem Buch viele wichtige Teilgebiete der Schwach- und Starkstromtechnik und eine große Anzahl von Bauvorschlägen, Schaltplänen und Anleitungen zu Experimenten finden. Wenn er die Ausführungen aufmerksam und gründlich durchgearbeitet hat, dann ist ihm der Einstieg in das interessante Gebiet der Elektrotechnik bestens gelungen.

1. Was ist Elektrizität?

Daß wir uns heute im Zeitalter der Elektrizität befinden, ist eine Binsenwahrheit geworden, die man stündlich im Alltag erlebt. Die Elektrizität war wohl die mächtigste und furchtbarste aller Kräfte in der Natur, solange der Mensch sie nicht zu bezwingen verstand. Sie ist jedoch der willigste und nützlichste Diener der Menschheit geworden, ähnlich wie das jetzt auch bei der Atomtechnik und der Raumfahrttechnik zutrifft.
Die Wissenschaft von der Elektrizität ist eines der fesselndsten und lohnendsten Arbeitsfelder für Forscher und Erfinder, und die besten Köpfe aller Länder arbeiten an der Lösung vieler Fragen, die hier noch offen sind. Trotzdem aber kennen wir, so seltsam es auch klingen mag, noch keine für jeden verständliche Antwort auf die Frage: Was ist Elektrizität eigentlich? Wir kennen wohl ihre Erscheinungsformen. Wir wissen, wie wir den elektrischen Strom für unsere Zwecke zu verwenden vermögen. Wir lassen ihn Motoren treiben und zwingen ihn, unsere Häuser und Straßen zu erleuchten. Wir wärmen unsere Zimmer durch ihn und kochen mit ihm unsere Speisen. Wir benützen ihn zur Übermittlung von Nachrichten über Leitungen und haben mit seiner Hilfe das Wunder der Elektronik und der ganzen drahtlosen Nachrichtentechnik verwirklicht. Und wir lassen ihn noch tausend andere Dinge verrichten, indem wir an einem Schalter drehen oder auf einen Kontaktknopf drücken. Was da aber eigentlich für uns schafft und arbeitet, offenbart sich nicht in einfacher Form: Elektrizität hat kein Gewicht, keine Gestalt, keine Farbe; man kann sie nicht sehen, nicht fassen, nicht in Teile zerlegen, kann ihr überhaupt auf keine bekannte Weise nahekommen. So müssen wir uns damit begnügen, sie als Energie zu betrachten, die sich mit unterschiedlichen Mitteln erzeugen läßt und die in zahlreiche Formen umgewandelt werden kann, z. B. in strahlende Wärme, Licht, Magnetismus, chemische Energie usw. Man hat auf Grund bestimmter Versuche und Beobachtungen eine Theorie ihres Wesens aufgestellt, die auch die anderen Energieformen, die wir oben nannten, umfaßt und die alle diese Erscheinungen aus der Bewegung winzigster Teilchen, der Elektronen, erklärt. Diese Theorie ist durch viele Versuche und Überlegungen heute

so unterbaut worden, daß wir sie ohne weiteres als richtig annehmen dürfen. Die Elektronen sind also die eigentlichen Elektrizitätsträger und befördern den elektrischen Strom.

Das Elektron ist ein Bauteil des Atoms und hat die äußerst kleine Masse von $0{,}9107 \cdot 10^{-27}$ Gramm (g). Jedem Elektron ist eine winzige elektrische »Ladung« zugeordnet, die der kleinsten in der Natur vorkommenden Elektrizitätsmenge (»elektrisches Elementarquantum«) entspricht. Sie hat einen Wert von $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb (C). Das Coulomb ist die Maßeinheit der elektrischen Ladung.

Wären alle in der Welt vorkommenden Elektronen gleichmäßig verteilt, dann gäbe es keine irgendwie wahrnehmbaren elektrischen Erscheinungen. Erst eine Störung des Gleichgewichtes der Elektronenverteilung macht sich unter bestimmten Umständen als »Elektrizität« bemerkbar. Man weiß aus dem täglichen Leben, daß ein gestörtes Gleichgewicht Spannungen verursacht, die zur Entladung drängen. Dieses Gesetz findet man auch bei elektrischen Vorgängen. Ist die gleichmäßige Verteilung der Elektronen gestört, so besteht zwischen den Körpern mit stärkerer und schwächerer Elektronenbesetzung eine elektrische Spannung, die sich auszugleichen versucht. Die Eigenschaften des Stoffes zwischen den beiden so zustande gekommenen gegensätzlichen »Polen« sind ausschlaggebend dafür, ob und in welcher Form ein solcher Ausgleich erfolgt.

Stoffe, die jeden Ausgleich verhindern, nennt man Isolatoren. Sie »leiten« keine Elektronen, so daß die Spannung erhalten bleibt. Allerdings kann unter gewissen Umständen, beispielsweise wenn die Unterschiede in der Elektronenbesetzung zu groß werden, ein gewaltsamer Ausgleich eintreten. Es gibt aber auch Stoffe, die bereits bei kleinen Unterschieden in der Elektronenbesetzung einen schnellen und wirksamen Ausgleich ermöglichen. Diese Stoffe nennt man Leiter. Zwischen Leitern und Nichtleitern bestehen zahlreiche fließende Übergänge, die durch den jeweiligen »Widerstand« bestimmt sind, den der Stoff dem Durchgang der Elektronen entgegensetzt.

Der Ausgleich der Spannungen erfolgt durch Abfließen der Elektronen vom elektronenreichen zum elektronenarmen Pol. Dieser Elektronenfluß entspricht dem elektrischen Strom, der unter dem Einfluß der zum Ausgleich drängenden elektrischen Spannung zustande kommt. Der Strom ist um so höher, je mehr Elektronen je Zeiteinheit den Quer-

schnitt des den Ausgleich herbeiführenden Mediums (des Stromleiters) durchfließen. Rein gefühlsmäßig kann man voraussagen, daß der Wert des elektrischen Stroms, die »Stromstärke«, von der Höhe der Spannung und der Größe des Widerstandes abhängt, den die Elektronen überwinden müssen. Eines der bekanntesten elektrophysikalischen Grundgesetze, das Ohmsche Gesetz, besagt, daß der Strom bei gleichbleibendem Widerstand der angelegten Spannung proportional ist, siehe S. 47.
Es gibt in der Natur und in der Technik Einrichtungen, die dafür sorgen, daß die unterschiedlich starke Elektronenbesetzung der beiden Pole trotz eines ständig erfolgenden Ausgleichs erhalten bleibt. Diese Einrichtungen heißen Stromquellen. Ihre Wirkungsweise wird in späteren Versuchen erläutert. Prinzipiell sind Stromquellen ganz allgemein Vorrichtungen, die stets für eine unterschiedliche Elektronenbesetzung zweier Punkte oder zweier Pole sorgen. Der schwach mit Elektronen besetzte Pol ist »positiv« (Positive Polarität, Positiver Pol, Anode, positives Vorzeichen +), der mit stärkerer Elektronenbesetzung »negativ« (negativer Pol, negative Polarität, Kathode, negatives Vorzeichen –). Diese Festsetzung ist willkürlich und bedeutet, daß der Elektronenausgleich vom Minuspol zum Pluspol erfolgt, das heißt, die Elektronen fließen stets vom negativen zum positiven Anschluß einer Stromquelle. Auf Grund früherer Vereinbarungen rechnet man allerdings in der Technik meistens noch mit dem Stromfluß in umgekehrter Richtung (also von Plus nach Minus), was zwar immer wieder zu Erörterungen Anlaß gibt, letzten Endes jedoch nur eine reine Formalität ist.
Die bisherigen Betrachtungen geben nur einen ungefähren Überblick über einige fundamentale Tatsachen; sie liefern aber einen Ausgangspunkt für die folgenden Überlegungen. Zunächst eine sehr wichtige Feststellung: Zur unmittelbaren Wahrnehmung von Elektrizität oder von elektrischen Vorgängen irgendwelcher Art hat der Mensch kein Sinnesorgan. Erst auf dem Umweg über ein Medium, das zwischen unsere Sinnesorgane und den elektrischen Vorgang geschaltet wird, machen sich elektrische Erscheinungen bemerkbar. Dieses Medium kann die Natur selbst liefern, und dann scheinen die menschlichen Sinne zur unmittelbaren Wahrnehmung elektrischer Erscheinungen auszureichen. Außerdem gibt es zahlreiche künstliche, von Menschenhand geschaffene Medien und Einrichtungen, die den Kontakt zwischen der Elektrizität und den Sinnesorganen herstellen.

2. Wahrnehmbare elektrische Erscheinungen ohne künstliche Hilfsmittel

Für die hier beschriebenen Erscheinungen benötigt man keine Hilfsmittel. Die Elektrizität scheint sich den Sinnen unmittelbar bemerkbar zu machen. In Wirklichkeit sorgt die Natur dafür, daß Auge, Ohr, Geschmacks- und Geruchssinn sowie Gefühlsnerven bestimmte elektrische Erscheinungen registrieren können.

2.1 Optische Wirkungen

Man betrachte an einem gewitterschwülen Sommerabend den Himmel. Ein Blitz zerreißt die Dunkelheit, und das bedeutet, daß eine »elektrische Entladung« stattgefunden hat. Sie ist die Folge sehr hoher Spannungen, die zwischen zwei Wolkengruppen mit verschiedenartiger Polarität oder zwischen einer Wolke und der Erde auftreten. Das dazwischen liegende Medium (die Luft) wirkt zunächst wie ein Nichtleiter, was überhaupt die Voraussetzung für den Aufbau der hohen Spannung ist. Schließlich bahnt sich eine gewaltsame Entladung an. Dabei treten sehr hohe Ströme auf, und die fließende Elektronenmenge erhitzt die Luft so stark, daß sie längs der Strombahn zu intensivem Leuchten angeregt wird. Was man sieht, ist also keineswegs der Strom selbst, sondern seine Folge, nämlich das Auftreten von Licht, auf das die Augen ansprechen. Die von der Natur in diesem Fall angebotenen Vermittler zwischen Elektrizität und Auge sind die glühenden Luftmoleküle.
Eine weitere, rein optisch bemerkbare Erscheinung ist das Nordlicht (Polarlicht), das man vorzugsweise in der Nähe der Erdpole beobachtet. Seine Stärke hängt mit bestimmten Vorgängen auf der Sonnenoberfläche zusammen. Die Sonne sendet unter gewissen Bedingungen sehr intensive Elektronenbündel aus, die in das magnetische Feld der Erde gelangen und dann zu den Magnetpolen hin abgelenkt werden. Dringen diese Elektronen in die oberen Schichten der Atmosphäre ein, in denen nur noch ein sehr niedriger Luftdruck herrscht, so bringen sie die Gase

zum Leuchten, was sich als Nordlicht darbietet. Auch hier ist das vermittelnde Medium klar erkennbar: die Moleküle der verdünnten Gase, die von den unsichtbaren Elektronen zum Leuchten angeregt werden.
Abschließend sei noch das sogenannte St. Elms-Feuer erwähnt, das man bei Gewitterstimmung an hohen Spitzen und Türmen beobachten kann. Da diese mit der Erde in Verbindung stehenden Spitzen gegenüber Wolken eine sehr hohe Spannung annehmen können, erfolgt ein allmählicher Ausgleich, der ebenfalls die umgebende Luft zum Leuchten bringt und dem Auge als Lichtbüschel oder Lichtspitze erscheint.

2.2 Akustische Wirkungen

Jeder Blitz ist mit Donner verbunden. Dieses Geräusch beruht darauf, daß nach dem Abreißen der Entladung die Luft der Umgebung mit großer Heftigkeit in die luftleer gewordene Entladungsstrecke stürzt. Die schnelle Bewegung vieler Luftmoleküle erzeugt einen kurzen, trockenen Knall, der den Donner darstellen würde, wenn nur eine einzige Entladung vorläge und wenn es keine Echoerscheinungen gäbe. Beides ist in der Natur aber nicht der Fall. Meistens treten gleichzeitig mehrere Blitze unterschiedlicher Stärke auf, und die zugehörigen Knallimpulse werden von der Erdoberfläche, von Bergen oder sonstigen Erhebungen zurückgeworfen. Zum Ohr dringt daher die Summe aller akustischen Erscheinungen, nämlich der Donner.
Das »reine« Geräusch einer elektrischen Entladung erreicht bei natürlichen Vorgängen nur sehr selten das Ohr. Man kann es durch die künstliche Erzeugung eines Blitzes, eines »Funkens«, nachahmen. Auch hier spielt wieder die Natur den Vermittler zwischen der elektrischen Erscheinung und dem Reiz, auf den das Ohr anspricht. Was man hört, ist nicht die Elektrizität, sondern der durch sie hervorgerufene akustische Effekt (infolge der schnellen Bewegung größerer Luftmassen). Das gleiche gilt auch für das mit dem St. Elms-Feuer verbundene Sprühgeräusch. Die stille Entladung besteht aus zahlreichen kleinen Einzelfunken, die jedesmal einen leichten Knall erzeugen. Die einzelnen Knallimpulse folgen sehr schnell aufeinander und sind so schwach, daß man sie nur als leichtes Sprühen hört.

2.3 Wirkungen auf den Geschmacks- und Geruchssinn

Nach einem Gewitter empfindet man die Luft als besonders »frisch und rein«. Das kommt aber nur von einem während des Gewitters gebildeten Gas, dem Ozon, das einen besonderen, nicht unangenehmen herben Geruch hat, der meistens noch mit dem Geruch der feuchten Erde verschmilzt. Befindet man sich dagegen unmittelbar in der Nähe eines Blitzeinschlags, dann wird der Geruch besonders stark und typisch. Man merkt förmlich, daß hier ein neuer gasförmiger Stoff entstanden ist. Man »riecht« also keineswegs die Elektrizität, sondern auch wieder nur eine ihrer Folgen, nämlich das unter ihrem Einfluß durch einen elektrochemischen Vorgang gebildete Ozon-Gas.
Bei einiger Aufmerksamkeit nimmt man im Augenblick des Blitzeinschlages unter günstigen Umständen im Mund einen säuerlichen Geschmack wahr. Die »Intensität« der elektrischen Erscheinung ist dann so groß, daß sie einen elektrochemischen Vorgang im Speichel des Mundes bewirkt, der zur Bildung von zu schmeckenden Salzen führt. Dieser Geschmack läßt sich übrigens nachahmen, wenn man die Pole einer Trockenbatterie mit der Zunge berührt. Aber auch hier ergibt sich wieder die wichtige Erkenntnis: Man »schmeckt« nicht die Elektrizität, sondern nur ihre Wirkung in Form neugebildeter chemischer Substanzen.

2.4 Wirkungen über Gefühlsnervenreizung

Wer schon einmal einen unbeabsichtigten elektrischen »Schlag«, wie man ihn beim Berühren der Pole eines Lichtnetzes erhält, verspürte (es sei ausdrücklich davor gewarnt, diesen »Versuch« zu machen), wird sich an krampfartige Schmerzen und Hitzegefühl erinnern. Diese Wirkungen der Elektrizität zeigen, daß elektrische Ströme unmittelbar unsere Gefühlsnerven reizen und so unbeabsichtigt Muskelgruppen in Tätigkeit setzen können. Diese bei einem elektrischen Schlag auftretenden Muskelbewegungen sind die Folge der Nervenreizung, und das ist der einzige Fall, bei dem die Elektrizität unmittelbar wahrgenommen wird. Die

Fortleitung von Reizen innerhalb des menschlichen Körpers erfolgt nämlich im allgemeinen auf elektrischem und chemischem Wege. Führt man von außen fremde elektrische Reize zu, so werden auch diese von den Nerven weitergeleitet und bewirken Muskelreaktionen, die unbeabsichtigt verlaufen und nur den fremden Reizen folgen.

3. Wahrnehmbare elektrische Erscheinungen durch umformende Hilfsmittel

Die in Abschnitt 2 besprochenen Erscheinungen konnten von jeher von jedermann beobachtet werden. Sie drängten sich dem Menschen förmlich auf und reizten seinen Wissensdurst. Das führte im Verlauf der vergangenen Jahrhunderte zur Erfindung von Hilfsmitteln, die eine immer größere Vielfalt elektrischer Erscheinungen offenbarten. Auch hier handelt es sich nur um Vermittler zwischen den reinen, für uns nicht wahrnehmbaren elektrischen Erscheinungen und unseren Sinnesorganen. Anfänglich kamen diese Hilfsmittel durch planloses Probieren und durch Zufälle zustande, später wurden sie durch systematische Forschung zielstrebig geschaffen. Die wichtigsten werden in diesem Abschnitt besprochen.

3.1 Optische Wirkungen

Für die ersten Versuche benötigt man eine einfache Stromquelle und zwar einen Netztransformator, der sich auch später allgemein verwenden läßt. Gut geeignet ist ein sogenannter Klingeltransformator, der nicht nur billig, sondern auch durch berührungssichere Anschlüsse

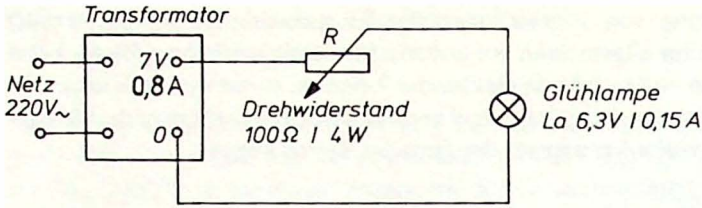
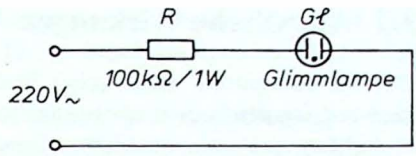


Abb. 1 Elektrischer Strom erzeugt Licht

zweckmäßig aufgebaut ist. Weiterhin sind eine kleine Glühlampe (6,3 V/ 0,15 A) und ein Drehwiderstand (Potentiometer) (100 Ω/4 W) erforderlich. Abb. 1 zeigt, wie die Bauteile zusammengeschaltet werden. Achtung, selbst diese einfache Grundschaltung hat ihre Tücken! Man arbeitet mit der Netzspannung von 220 V, die gefährlich werden kann, wenn man mit der Leitungsführung allzu oberflächlich umgeht. Von der Gefährlichkeit der Hochspannung wird später noch die Rede sein. Die Netzspannungsseite des Transformators muß daher mit einem ordentlichen Netzkabel und Schukostecker berührungssicher verbunden werden.

Wie man sieht, muß der Strom von der oberen Klemme 7 V/0,8 A zuerst zum Widerstand und von dessen »Abgriff« über die Glühlampe La zur unteren Klemme 0 fließen. Das ist der sogenannte Stromkreis. Mit Hilfe des Drehgriffes von Widerstand R können größere oder kleinere Widerstandswerte eingestellt werden. Beobachtet man nun den Faden der Glühlampe im verdunkelten Zimmer bei voll eingestelltem Widerstand, dann glüht er kaum sichtbar. Verkleinert man R durch langsames Drehen, so wird das Licht immer heller, und Einzelheiten des Leuchtfadens werden nicht mehr erkennbar, da das Auge geblendet wird. Aus diesem Versuch lassen sich interessante Schlußfolgerungen ziehen. Er zeigt deutlich, daß man elektrische Energie in Lichtenergie umwandeln kann. Die in dem Stromkreis fließenden Elektronen müssen den Glühfaden des Lämpchens passieren. Dabei reiben sie sich so stark an den einzelnen Molekülen und Atomen des Glühfadenmetalles, daß die entstehende Reibungswärme den Faden immer mehr erhitzt, bis er schließlich glüht. Das ausgesandte Licht ist also eine unmittelbare Wirkung des elektrischen Stroms. Außerdem erkennt man, daß der vorgeschaltete

Abb. 2 Erzeugung von Glimmlicht



Widerstand R den Strom in der Lampe um so mehr herabsetzt, je größer der Widerstandswert ist. Auch hier sorgt die Reibung dafür, daß die Anzahl der Elektronen, die je Zeiteinheit im Stromkreis fließen, entsprechend zurückgeht.

Selbstverständlich läßt sich dieser Versuch auch mit Gleichstrom durchführen. An Stelle des Transformators wird eine Batterie verwendet. Es zeigen sich die gleichen Erscheinungen, woraus man folgert, daß die Art der Stromquelle für diesen Versuch gleichgültig ist, obwohl sich die Spannung des Transformators ganz anders als die der Batterie verhält.

Mit Hilfe des elektrischen Stroms kann man nicht nur dünne Metalldrähte, sondern auch Gase zum Glühen und damit zum Leuchten bringen. Man schaltet eine kleine Glimmlampe über einen Widerstand R (100 kΩ/1 W) an die Netzleitung von 220 V Wechselspannung (Abb. 2). Sicherheitshalber stellt man vorher die Schaltverbindungen her und schließt erst dann den Netzstecker an die Steckdose an. Es zeigt sich im Inneren der Glimmlampe ein kräftiges Leuchten. In dieser Lampe sind zwei Pole (Elektroden) untergebracht. Sie enthält ein bestimmtes Gas (Neon) unter sehr geringem Druck, das nahezu einem Isolator gleichkommt. Steigt die Spannung über einen bestimmten Wert (was im vorliegenden Versuch der Fall ist), dann wird das Gas immer besser leitend, weil die wenigen vorhandenen freien Elektronen aus den Gasatomen Elektronen herausschlagen, und das führt zu einer Erhöhung des Stroms. Er erreicht schließlich einen Wert, der ausreicht, um das Gas zum Leuchten zu bringen. Es gibt verschiedene Ausführungsformen von Glimmlampen; bei manchen ist der Schutzwiderstand in der Lampe bereits miteingebaut, so daß der äußere Widerstand entfällt.

3.2 Akustische Wirkungen

Das Vorhandensein elektrischer Ströme oder Spannungen kann man auch auf akustischem Wege nachweisen. Sehr einfach ist folgender Versuch: Man verwendet ein kleines Sperrholzbrett von etwa 20 cm Kantenlänge und legt es an die Schläfe. Hält man den Netztransformator aus Abb. 1 dagegen, so hört man nach dem Einschalten der Netzspannung ein dumpfes Brummen. Im Transformator fließt ein Strom, der von der Spannung des Lichtnetzes herrührt. Da sie ihre Richtung 50 mal je Sekunde wechselt, ändert sich auch 50 mal je Sekunde die Polarität der Anschlüsse. Das hat einen entsprechenden »Wechselstrom« in der mit dem Netz verbundenen Wicklung des Transformators zur Folge, der den Eisenkern magnetisiert. Das Eisen wird hin- und hermagnetisiert und gerät dabei in zwar geringfügige, aber immerhin wahrnehmbare mechanische Schwingungen, die sich als dumpfes Brummen bemerkbar machen. Hier wird also Elektrizität über den Umweg mechanischer Schwingungen »hörbar« gemacht.

Bessere Ergebnisse erhält man mit einem Kopfhörer, dessen Anschaffung sich für spätere Versuche ohnehin empfiehlt. Es genügt eine billige Ausführung mit einem Spulenwiderstand von etwa 2000 Ω. Verbindet man die Anschlußlitze mit den Anschlußklemmen 0–7 V des Transformators (Abb. 1), so hört man im Kopfhörer lautstark das Brummgeräusch. Im Prinzip handelt es sich um die gleichen Erscheinungen wie bei dem vorhergehenden Versuch. Der Kopfhörer enthält eine kleine, vom Strom durchflossene Spule, die ein Eisenstück umgibt. Vor dem Eisenstück ist eine sehr dünne Metallmembran angebracht. Unter dem Einfluß des Wechselstroms wird in der Umgebung der Spule ein besonderer Zustand, ein magnetisches »Wechselfeld«, erzeugt, das die Membran in mechanische Schwingungen versetzt. Diese Schwingungen können mit dem Ohr wahrgenommen werden. Man kann den Versuch natürlich auch mit einem Lautsprecher wiederholen.

Wird statt des Transformators eine Batterie verwendet, so ergibt sich nur beim Ein- und Ausschalten des Stroms ein kurzes Knacken im Kopfhörer. Der von der Batterie gelieferte Strom ruft im normalen Betrieb kein Brummgeräusch hervor, denn es handelt sich hier um »Gleichstrom«. Die Batterie liefert nämlich eine »Gleichspannung«, das heißt, die Polarität der Anschlüsse bleibt unabhängig von der Zeit stets erhal-

ten. Beim Einschalten wird die Membran nur einmal angezogen und beim Ausschalten fällt sie ab. Beide Erscheinungen erzeugen das erwähnte Knackgeräusch.
Es gibt zahlreiche Geräte, die die Möglichkeiten zur Erzeugung akustischer Schwingungen aus elektrischen Strömen praktisch ausnutzen. Dazu gehören zum Beispiel die verschiedenen elektrischen Sirenen, die in jedem Auto vorhandene Hupe, der elektrische Summer und so weiter. Stets wird hier die Wechselwirkung zwischen Strom und Magnetfeld in irgendeiner Form ausgenutzt. Auch hier soll man sich merken: Man kann die Elektrizität selbst niemals »hören«, sondern immer nur ihre akustischen Wirkungen.

3.3 Wärmewirkungen

Überbrückt man die Anschlußklemmen 0–7 V des Netztransformators (Abb. 1) mit einem Widerstand von 50 Ω/0,5 W, so wird man feststellen, daß der Widerstand nach dem Einschalten der Netzspannung heiß wird. Im Prinzip handelt es sich hier um die bereits bekannte Erscheinung, nämlich, daß die Reibung der Elektronen Wärme bewirkt. Schon bei dem Versuch mit der Glühlampe konnte man erkennen, daß auch sie heiß wird.
Es gibt zahlreiche Anwendungen, die nur die Wärmewirkung ausnutzen, zum Beispiel elektrische Öfen, Bügeleisen, Kochplatten und so weiter. Hier kommt es nicht auf eine Lichtaussendung, sondern nur auf die Wärmeentwicklung an. Das Prinzip ist immer gleich: Widerstände werden von Strömen durchflossen und erhitzen sich.
Zwei weitere wichtige Anwendungen der Stromwärme seien noch erwähnt. Man macht zunächst folgenden Versuch. Nach Abb. 3 werden auf einer etwa 400 mm langen Holzleiste zwei Holzsäulen montiert, an deren oberen Enden man einen straff gespannten Kupferdraht (CuL-Draht) von 0,15 mm Durchmesser mit Reißnägeln befestigt. Die Drahtanschlüsse verbindet man über eine kräftige Leitung, zum Beispiel über eine Netzlitze, mit den Anschlüssen 0–7 V des Transformators. In der Mitte des Drahtes wird ein leichter Gegenstand (Nagel, Bleistift usw.) aufgehängt. Schaltet man den Strom ein, dann biegt sich der Draht verhältnismäßig schnell nach unten durch, und das Gewicht sinkt tiefer.

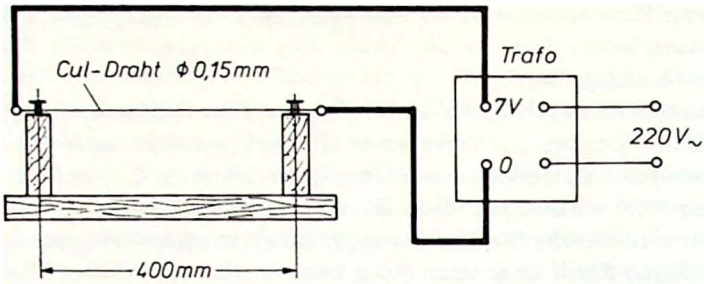


Abb. 3 Wärmewirkung der Elektrizität

Würde man hinter dem Gewicht eine Skala anbringen, so könnte man ablesen, wie stark sich der Draht bei einem bestimmten Strom durchbiegt. Diese Durchbiegung ist um so stärker, je größer der Strom ist. Auf diesem Prinzip beruhen die sogenannten Hitzdrahtinstrumente, die auf die Stromwärme reagieren.

Für den zweiten Versuch wird eine der Holzsäulen in der Nähe der anderen so befestigt, daß der Abstand etwa 6 cm beträgt. Beide Säulen werden in der bereits bekannten Weise mit einem kurzen Stück Kupferdraht (CuL 0,15 mm Durchmesser) überbrückt; die Drahtenden schließt man an den Transformator an. Nach dem Einschalten beginnt der dünne Draht heftig zu glühen und brennt an einer Stelle sehr schnell durch. Da der Gesamtwiderstand wegen der kürzeren Drahtlänge wesentlich kleiner als beim vorhergehenden Versuch ist, steigt der Strom entsprechend und erhitzt den Draht so stark, daß dieser mit Sicherheit an einer Stelle zerstört wird. Daraus ergibt sich für die Praxis die Sicherung als wichtige Nutzanwendung. Sicherungen (wie man sie in jedem Haushalt hat) bestehen in den meisten Fällen aus Porzellanpatronen, in denen ein dünner Draht zwischen den beiden von außen zugänglichen Anschlüssen ausgespannt ist. Er wird in den Stromkreis der abzusichernden Leitung geschaltet und ist so bemessen, daß er beim Überschreiten einer bestimmten Stromstärke mit Sicherheit durchschmilzt. Schließt man also an eine Steckdose einen Verbraucher an, der zu einer Überlastung der Leitungen führen würde, so wird er rechtzeitig durch die Sicherung abgeschaltet.

3.4 Mechanische Wirkungen

Der elektrische Strom kann auch mechanische Wirkungen haben. In der Mehrzahl der Fälle benutzt man hierbei als Bindeglied ein »Feld«, das in zwei Grundformen, dem elektrischen und dem magnetischen Feld, und in einer Kombinationsform, dem elektromagnetischen Feld, auftreten kann. Diese Felder äußern sich auf verschiedene Weise. Magnetfelder erhält man in der Umgebung stromdurchflossener Leiter, während elektrische Felder zwischen zwei Polen auftreten, die gegeneinander eine elektrische Spannung aufweisen. Derartige Felder können, wenn sie genügend stark sind, mechanische Erscheinungen auslösen.

Mit einem einfachen Versuch läßt sich die mechanische Wirkung der Elektrizität nachweisen. Über einen kleinen einfachen Taschenkompaß wird nach Abb. 4 ein Kupferdraht gelegt und zwar so, daß er parallel zu der in Nord-Süd-Richtung eingestellten Nadel verläuft. Diesen Draht verbindet man über den Widerstand R mit der Batterie B. Der Abgriff des Widerstandes R wird ungefähr auf Mittelstellung gebracht. Nach dem Einschalten kann man sofort eine Ablenkung der Magnetnadel beobachten, und zwar in eine ganz bestimmte Richtung, die von der Stromrichtung abhängt. Fließt kein Strom, so folgt die Nadel lediglich der Richtung des Erdfeldes. Sobald Strom fließt, tritt um den stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld auf, das sich dem Erdfeld überlagert und die Nadel in eine andere Richtung zwingt.

Die Richtung des Ausschlags ergibt sich aus folgender einfacher Regel: Legt man die rechte Hand parallel zum Stromleiter und zwar so, daß der

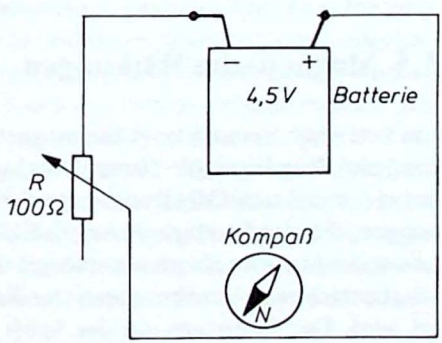


Abb. 4 Mechanische Wirkungen der Elektrizität

Strom von den Fingerwurzeln zu den Fingerspitzen fließt, so zeigt der ausgestreckte Daumen stets die Richtung des Nordpols der abgelenkten Magnetnadel an (der Nordpol ist an der blauen Färbung der Nadel zu erkennen). Kehrt man die Stromrichtung um, so ändert sich auch der Ausschlag. Die Richtigkeit dieser Ausführungen zeigt sich, wenn man die Anschlüsse an der Batterie vertauscht. Dann wird der Nordpol der Magnetnadel in die andere Richtung abgelenkt.

Man erkennt aus dem Versuch, daß der Strom eine mechanische, unseren Sinnen zugängliche Erscheinung ausgelöst hat: Ein kleines Stückchen Stahl wurde bewegt. Dies nutzt man zum Bau empfindlicher Meßinstrumente, der sogenannten Galvanometer, aus. Sie enthalten ebenfalls eine Magnetnadel; man verwendet jedoch nicht einen einzelnen Leiter, sondern eine »Spule«, in die die Magnetnadel gesetzt wird. Hat diese Spule zum Beispiel 10 Windungen, so addieren sich die Magnetfelder der einzelnen Windungen, und dieses zehnfach stärkere Magnetfeld wirkt entsprechend stärker auf die Nadel; das Galvanometer ist »empfindlicher« geworden.

Auf dem Zusammenwirken zwischen Magnetfeld und Bewegung beruhen zahlreiche andere Meßinstrumente, beispielsweise das sogenannte Drehspulmeßwerk, bei dem eine Spule drehbar zwischen den Polen eines starken Dauermagneten gelagert ist. Zwei Spiralfedern halten die Spule in einer bestimmten Ruhelage fest. Läßt man Strom durch die Spule fließen, so dreht sich diese aus der Ruhestellung heraus, und zwar um so mehr, je stärker der Strom ist. Dabei hängt die Richtung des Ausschlags von der Stromrichtung ab. Man kann daher diese Instrumente nur zur Messung von Gleichspannungen und Gleichströmen verwenden.

3.5 Magnetische Wirkungen

Ein einfacher Versuch zeigt die magnetische Wirkung der Elektrizität. Ein Stück Rundeisen (8–10 mm Durchmesser, Länge etwa 60 mm) wird mit einem 0,3 mm-CuL-Draht umwickelt. Es genügen 150 bis 200 Windungen, die zweckmäßigerweise mit Klebeband fixiert werden. Empfehlenswert ist es, den Rundeisenstab vor dem Bewickeln mit einer Papierschutzschicht zu versehen, damit der Kupferdraht nicht blank gescheuert wird. Der Eisenkern mit der Spule wird, wie Abb. 5 zeigt, in den

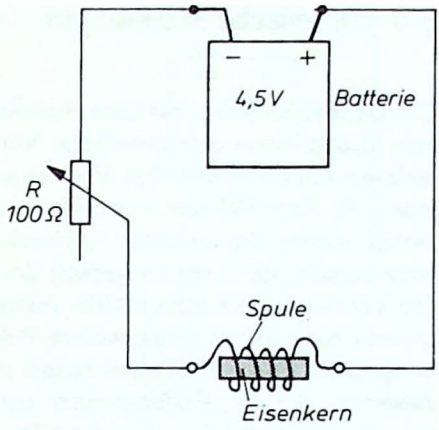


Abb. 5 Magnetische Wirkungen der Elektrizität

Stromkreis geschaltet; den Schleifer des Regelwiderstandes R stellt man etwa auf die Mitte seines Drehbereiches.

Bringt man den Kompaß in die Nähe der Spule, so schlägt die Magnetnadel sofort stark aus. Auch ein an einem Faden aufgehängter eiserner Nagel wird von der Spule sofort angezogen. Polt man die Anschlüsse an der Batterie B um, so entsteht der gleiche Effekt. Das beweist, daß die Stromrichtung keinen Einfluß auf die magnetische Wirkung hat. Verwendet man statt der Batterie den Transformator mit den Anschlußklemmen 0–7 V, so wird der Nagel ebenfalls angezogen. Durch den Faden hindurch empfindet man dann bei genügend starkem Strom ein leises Vibrieren des Nagels. Mit Hilfe des elektrischen Stroms lassen sich also erhebliche Kraftwirkungen erzeugen.

Mit dem beschriebenen Versuch wurde ein »Elektromagnet« einfachster Art gebaut, der in der Praxis des täglichen Lebens, in Wissenschaft und Technik sehr weitreichende Anwendungen gefunden hat. Zum Beispiel gibt es leistungsstarke Hubmagnete, mit denen schwere Lasten aufgehoben werden können. Weitere Anwendungen findet der Elektromagnet in den sogenannten Relais. Hier handelt es sich im Prinzip ebenfalls um eine stromdurchflossene Spule, die ein Eisenstückchen, den Anker, anzieht. Die auftretende Bewegung wird zur Betätigung elektrischer Kontakte benutzt, mit denen man wesentlich stärkere Ströme schalten kann, als sie zum Betätigen des Relais selbst erforderlich sind. Ein typisches Beispiel bietet der Anlasser-Motor eines Autos. Mit einem schwachen Steuerstrom wird der Anlasser betätigt, dessen Stromaufnahme kurzzeitig 80–100 A beträgt.

3.6 Chemische Wirkungen

Der elektrische Strom hat auch chemische Wirkungen, die darin bestehen, daß er bestimmte chemische Verbindungen in ihre Bestandteile zerlegen kann. Ein einfacher Versuch soll das zeigen. Man zerschneidet eine rohe Kartoffel und steckt in die frische Schnittfläche die Enden zweier blanker Kupferdrähte. Verbindet man die Drähte mit einer Batterie, so läßt sich in der Umgebung des einen Drahtstückes eine grünliche Verfärbung der Schnittfläche feststellen. Verfolgt man den Draht, so sieht man, daß er zum positiven Pol der Batterie führt. Die Verfärbung ist auf einen chemischen Prozeß im Inneren der Kartoffel zurückzuführen, der die Bildung einer neuen, durch grünliche Färbung gekennzeichneten Substanz in der Nähe des positiven Pols bewirkt.
Für einen weiteren Versuch füllt man ein Wasserglas zur Hälfte mit Wasser und gibt den Saft einer halben Zitrone dazu. In die schwache Säurelösung werden zwei blanke Kupferdrähte getaucht, die mit einer Batterie verbunden sind. Schon bald zeigt sich an dem Draht, der am negativen Pol der Batterie liegt, eine lebhafte Gasentwicklung, und nach kurzer Zeit bilden sich am anderen Draht ebenfalls Gasblasen, die jedoch kleiner sind und in geringerer Anzahl aufsteigen (Abb. 6). Diese Gasblasen sind das Ergebnis der Zerlegung des Wassers. Am negativen Pol bildet sich Wasserstoff, am positiven Sauerstoff, und da ein Wassermolekül aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff besteht, ist die freiwerdende Wasserstoffmenge natürlich größer als die Sauerstoffmenge. Die Gasblasen steigen zur Oberfläche und vermischen sich dort; es bildet sich das sogenannte Knallgas, ein hochexplosives Gasgemisch. Allerdings tritt es bei diesem einfachen Versuch in verschwindend kleiner Menge auf, so daß von einer Gefährlichkeit keine Rede sein kann.
Ein weiterer einfach durchzuführender Versuch vermittelt einen Einblick in ein wichtiges Teilgebiet der Elektrochemie. Etwa 10 bis 20 Gramm Kupfervitriol, auch Kupfersulfat genannt (in Drogerien erhältlich), werden im Wasserglas aufgelöst. Der blauen Lösung setzt man etwa einen Teelöffel Akkumulatorsäure zu, die aus einer Autobatterie abgesaugt werden kann. Achtung beim Umgang mit der Säure! In diese Lösung werden ein blanker Kupferdraht und ein blankpolierter, mög-

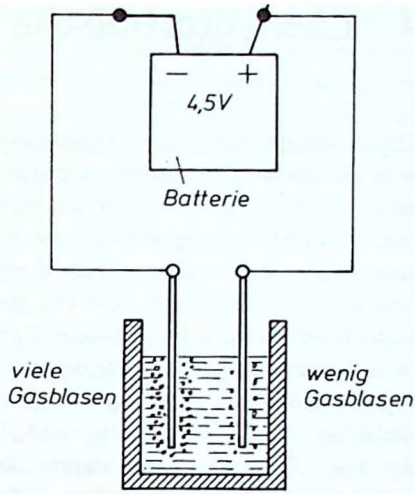


Abb. 6 Chemische Wirkungen der Elektrizität

lichst fettfreier Eisenstab getaucht. Der Eisenstab, der aus einem stärkeren Nagel bestehen kann, wird mit einer entsprechenden Verbindungsleitung an die negative Anschlußklemme der 4,5-V-Batterie angeschlossen. Den blanken Kupferdraht verbindet man mit dem positiven Anschluß der Batterie. Es kommt ein Stromfluß zustande, weil die schwach angesäuerte Lösung leitend ist. Nach etwa 10 Minuten kann man den Versuch beenden und die Metalle aus der Lösung nehmen. Am Kupferdraht hat sich, abgesehen von einer etwas helleren Färbung der Oberfläche, nichts geändert, während der Eisenstab eine dunkelbraune Färbung aufweist. Auf ihm hat sich Kupfer niedergeschlagen, das von der am positiven Pol liegenden Anode stammt. Das Kupfer ist vom Kupferdraht durch die Flüssigkeit zum Eisenstab gewandert und hat sich dort abgesetzt. Dieser Vorgang zeigt deutlich die chemische Wirkung des elektrischen Stroms und deutet gleichzeitig auf praktisch außerordentlich wichtige Anwendungen hin. Man kann nämlich auf diese Weise metallische Gegenstände verkupfern, aber auch versilbern oder mit anderen Metallen überziehen. Das hängt jeweils von dem Material des positiven Pols und der Zusammensetzung der Flüssigkeit, des sogenannten Elektrolyten ab. Beispielsweise benötigt man zum Versilbern eine Silberanode und eine Silbersalzlösung als Elektrolyt. Auf diese Weise lassen sich aber auch nicht nur Gegenstände versilbern oder verkupfern, sondern vollständig neue Gegenstände aus Kupfer herstellen. Die zugehörigen technischen Zweige nennt man Galvanoplastik und Galvanostegie.

4. Elektrotechnische Arbeitspraxis

Die Ausführungen der vorangehenden Abschnitte haben gezeigt, wie man elektrische Erscheinungen wahrnehmen kann und welche Hilfsmittel erforderlich sind. Nur mit den Hilfsmitteln ist es möglich, den Kontakt zwischen dem eigentlichen elektrischen Vorgang und unseren Sinnesorganen herzustellen. Daß diese Kontaktmittel weitgehend im Selbstbau gefertigt werden können, stellt den besonderen Wert der elektrotechnischen Arbeitspraxis dar. Gerade die praktische Betätigung auf dem Gebiet der Elektrotechnik ist der sicherste Weg zum Einstieg in dieses interessante Arbeitsgebiet. Diese Erfahrung haben sich Pioniere der Elektrotechnik, der Radio- und Fernsehtechnik, bedeutende Erfinder und die heutige Generation der Elektroingenieure weitgehend zunutze gemacht. In der modernen Berufsausbildung z. B. des Elektromechanikers, des -ingenieurs usw. muß eine gewisse praktische Ausbildung in technischen Werkstätten des Handels, des Handwerks oder in den Laboratorien der Industrie nachgewiesen werden.
Aber nicht nur die Berufslaufbahn führt zur elektrotechnischen Arbeitspraxis. Viele betrachten die praktische Beschäftigung mit der Elektrotechnik als ihr »Hobby«. Die Kreise der Radio- und Tonbandamateure oder der Funkfreunde, die an elektronischen Fernsteuerungen für Flug-, Auto- und Schiffsmodelle interessiert sind, werden immer größer. Es kommt weniger darauf an, Geräte mit Industrieeigenschaften zu produzieren, als vielmehr Konstruktionen zu finden, in denen eigene Ideen verwirklicht werden können. Zum Aufbau der meisten Geräte und Schaltungen bietet die Bauelemente-Industrie eine Fülle von Einzelteilen an. Es ist daher bei einigem Geschick viel leichter auf diesem, als auf anderen Arbeitsgebieten Erfolge zu erzielen. Der Selbstbau von Geräten kann billiger sein als die Anschaffung eines Industrie-Gerätes, wenn man sich auf unkomplizierte Schaltungen und preiswerte Einzelteile beschränkt. Strebt man in Leistung und Ausstattung Industrie-Qualität an, so wird das Selbstbauprodukt vielfach teurer. Die gewonnenen Erfahrungen beim Bau derartiger Geräte wiegen aber die Mehrkosten wieder auf.
Es ist besonders reizvoll, die gebauten Geräte und Versuchsanordnun-

gen nach und nach zu vervollkommnen. Selbstgebaute Geräte veralten weniger rasch als typische Industrieprodukte und sie können von vornherein für nachträgliche Erweiterungen entworfen und später durch Zusatzschaltungen erweitert werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, einen großen Teil des aufgewendeten Materials wieder auszuschlachten und zum Aufbau neuer Geräte zu verwenden.

4.1 Werkzeuge

Zu jeder handwerklichen Betätigung gehört geeignetes Werkzeug. Auch in der elektrotechnischen Arbeitspraxis spielt die Qualität des verwendeten Werkzeugs eine ausschlaggebende Rolle. Qualitätswerkzeuge helfen Zeit und Material sparen; angefertigte Geräte erhalten außerdem ein besseres Aussehen, was vielfach ein Kriterium für das Können des einzelnen darstellt. Der Anfänger kommt in der Regel mit einem Mindestbestand an Werkzeugen aus. Dazu gehören drei *Schraubenzieher* (die moderne Bezeichnung lautet »Schraubendreher«) mit 2, 3,5 und 4,5 mm Klingenbreite, drei *Zangen* (Flach-, Rund- und Spitzzange), ein *Seitenschneider*, ein kleiner *Hammer* und – darüber wird später noch ausführlich berichtet – *ein Lötkolben*. Die Schraubenzieher sollten erstklassig sein. Besonders zweckmäßig sind Norm-Schraubenzieher aus Chrom-Vanadium-Stahl mit einem Heft aus hochwertigem Isolierstoff. Man sollte besonders auf scharfe Kanten und günstige Klingenlängen achten. Mit beschädigten Schraubenziehern, deren Schneiden verbogen oder ausgebrochen sind, werden meistens die Schraubenköpfe verunstaltet. Wichtig für die Montage und die Verdrahtung sind die Zangen. Ein Seitenschneider, an den besonders hohe Güteforderungen gestellt werden, ist geradezu unentbehrlich. Die weitverbreitete Unsitte, mit dem Seitenschneider Nägel oder sonstige harte Metalle abzutrennen, rächt sich sofort; der Seitenschneider wird unbrauchbar.
Gute Dienste leistet die Rundzange, vor allem beim Biegen von Ösen und bei kleinen Blecharbeiten. Die von der Werkzeugindustrie hergestellte Schnabelzange oder Langspitzzange erweist sich bei der Verdrahtung und bei Eingriffen an unübersichtlichen Stellen als sehr nützlich. Flachzangen sind bei der Montage unentbehrlich; sie eignen sich aber auch zum Zurechtbiegen von Schaltdrähten.

Fürs erste genügt dieser minimale Werkzeugbestand. Trotzdem empfiehlt es sich, ihn nach und nach zu ergänzen. Es ist lediglich eine Geldfrage. Die Anlage lohnt sich aber in jedem Falle und schließlich ist ein wohlgefüllter Werkzeugschrank der Stolz eines jeden Bastlers. Die schon genannten Schraubenzieher ergänzt man mit Ausführungen für 5,5 und 7 mm Klingenbereich. Die Anschaffung eines kompletten Satzes von Kreuzschlitz-Schraubendrehern ist zu empfehlen, weil in vielen Geräten Schrauben mit den kreuzförmigen Einschnitten vorhanden sind. Sehr nützlich sind ferner Uhrmacher-Schraubenzieher in Breiten von 1 mm und 2 mm. Um auch an schwer zugängliche Schrauben heranzukommen, sollte man mindestens einen Winkelschraubenzieher von etwa 4 mm Breite besitzen. Zum Abisolieren von Leitungen und Schaltdraht benötigt man Spezialzangen in verschiedenen Größen. Sie lassen sich auf vielerlei Drahtquerschnitte einstellen, so daß das Einritzen des Drahtes vermieden wird. Besonders praktisch sind Abziehpinzetten, mit deren Hilfe lackisolierte Kupferdrähte oder auch durch Alterung und Oxydation verunreinigte Drähte blank geschabt werden können.

Das einfachste und vielseitigste Werkzeug ist ein preiswertes *Kabelmesser*. Es enthält außer der Schneideklinge einen einteiligen Schaber, mit dem man Lack- oder Rostspuren an Metallteilen mühelos entfernen kann.

Unentbehrlich ist eine *Handbohrmaschine* mit einer Futterspannweite von 1–10 mm. Dazu gehört ein Satz Spiralbohrer von 1–10 mm. Es genügt, wenn der Bohrersatz von 0,5 zu 0,5 mm steigend angeschafft wird.

Nicht minder wichtig ist ein *Schraubstock*. Man wählt den einfachen Parallelschraubstock mit etwa 80–100 mm Backenbreite. Hat man einen festen Werktisch zur Verfügung, so nimmt man einen Schraubstock, der sich mit kräftigen Schrauben auf der Werkplatte befestigen läßt. Im anderen Falle wird man eine Ausführung mit eingebauter Befestigungsschraube kaufen. Durch Unterlegen eines Holzbrettchens kann der Eindruck der Halteschraube in die Tischplatte vermieden werden. Die Spannplatten des Schraubstockes sind mit Zähnen versehen; diese stören, wenn empfindliche Gegenstände eingespannt werden müssen. Man braucht deshalb weiche Backenbleche, die selbst hergestellt werden können. Jedes Weichmetall ist hierzu geeignet. Die Bleche haben die Länge der Schraubstockbacken und sind abgewinkelt, damit sie einen entsprechenden Halt haben.

Zur Bearbeitung von Metallen verwendet man *Feilen*. Diese unterscheiden sich zunächst durch die »Hiebe« (das sind die Zähne der Feile). Feilen mit dem für den Bastler geeigneten Hieb werden *Bastardfeilen* genannt. Es genügt, wenn man sich je eine Flach-, Rund-, Dreikant- und Halbrundfeile von je 200 mm Länge anschafft. Die mit feinerem Hieb versehenen Feilen werden *Schlichtfeilen* genannt. Auch hiervon besorgt man sich die gleichen Profile. Zu den Feilen gehören Handgriffe aus Holz, die sog. *Feilenhefte*.

Für die Holzbearbeitung verwendet man *Holzraspeln*. Hiervon genügen zwei Stück, eine grobe und eine feine mit halbrundem Profil und den dazu passenden Feilenheften.

Für besonders feine Feilarbeiten werden sog. *Raumfeilen* (Schlüsselfeilen) verwendet. Sie sind meist zu einer Sammlung von 6 Stück mit den Profilen flach, halbrund, dreikant, vierkant, rund und flachspitz zusammengestellt und werden bei vielen Arbeiten oft gebraucht. Die Feilen reinigt man mit einer Feilenbürste.

Unentbehrlich ist auch ein kleiner *Hammer*. Da keine allzugroßen Arbeiten auszuführen sind, genügt ein gewöhnlicher Schlosserhammer von 200 g Gewicht. Wer den Bestand seines Werkzeugkastens etwas vergrößern will, kann sich noch einen kleineren *Niethammer* mit 100 g Gewicht anschaffen.

Laubsägearbeiten kommen in der elektrotechnischen Arbeitspraxis recht häufig vor. Es empfiehlt sich daher, neben einem stabilen *Laubsägebogen* verschiedene *Sägen* für Holz und für Metall vorrätig zu haben. Beim Sägen mit der Laubsäge greifen die Zähne der feinen Sägeblätter in das Material. Man darf also keine Gewalt anwenden und die Säge nicht nach vorn drücken. In diesem Falle würde das Blatt abwandern und der Schnitt schief ausfallen. Verkantet man die Säge, so bricht das Sägeblatt; es bricht auch, wenn man den Sägebogen mit der eingespannten Säge schiefhält oder ohne Schnittbewegung zu drehen versucht. Beim Sägen muß der Sägebogen ruhig gehalten und das Sägeblatt senkrecht zum Werkstück geführt werden.

In diesem Abschnitt konnte natürlich nur eine beschränkte Auswahl von Werkzeugen beschrieben werden, denn es gibt eine Unmenge von Spezialwerkzeugen in erstklassiger Qualität. Besonders Interessierten sei das Studium einschlägiger Kataloge der großen Versandgeschäfte empfohlen.

Zum Abschluß noch ein Hinweis: Es ist durchaus nicht gleichgültig, wie man mit dem Werkzeug umgeht; man sollte es vor allem nur für die ihm zugedachten Aufgaben verwenden. Schraubenzieher z. B. als Meißel oder zum Aufbohren zu kleiner Löcher zu benutzen ist nicht nur falsch, sondern führt auch zur Beschädigung von Werkzeug und Material. Daß dabei unnötig Zeit und Geld vergeudet und die Unfallgefahr vergrößert wird, bedarf sicher keiner besonderen Erwähnung. Tafel 1, Abb. 1 zeigt eine Zusammenstellung geeigneter Werkzeuge.

4.2 Rohstoffe

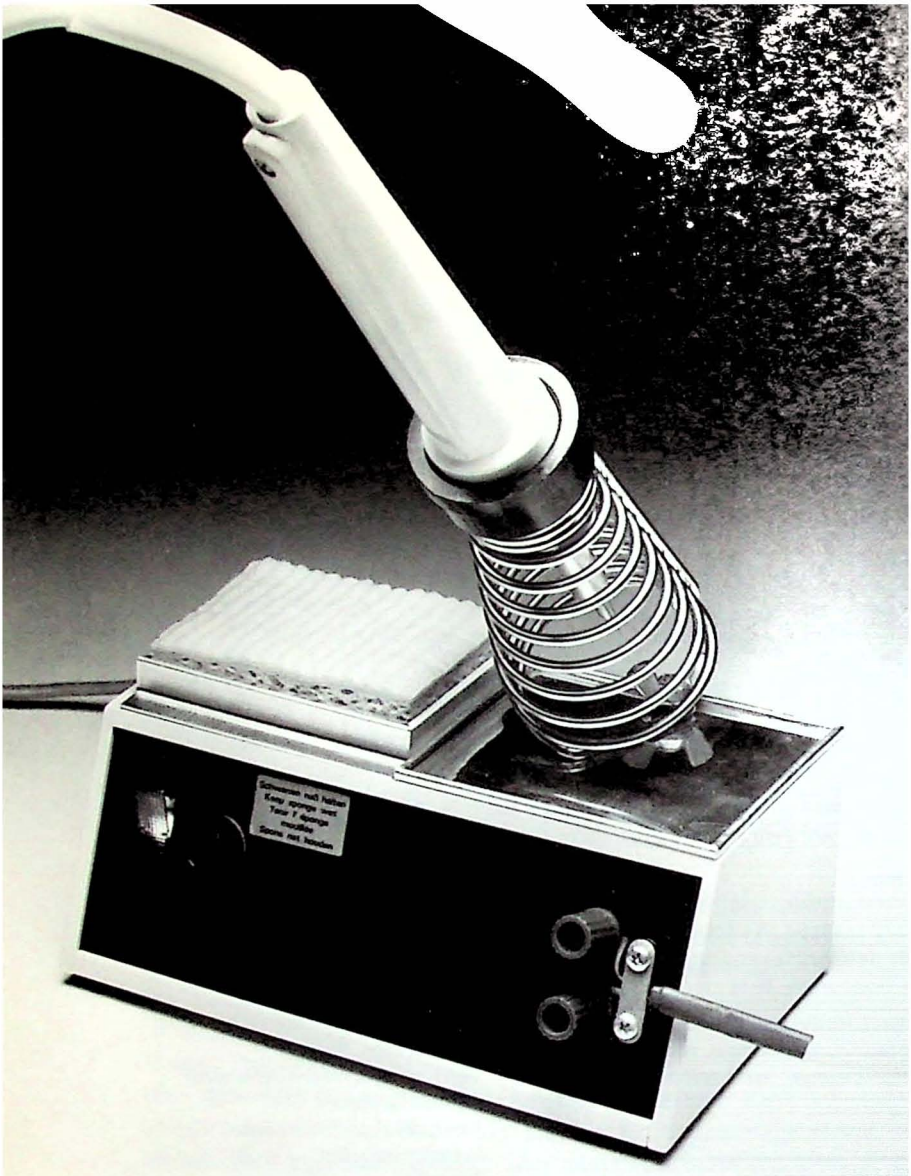
Für die Arbeiten werden Werkstoffe verwendet, die nicht nur jederzeit erhältlich, sondern auch billig sind. Man legt sich im Laufe der Zeit ein kleines Lager an, in dem man Holzbrettchen, Isolierstoffreste, Messing-, Kupfer-, Eisen- und Aluminiumabfälle und sonstige Kleinteile, Schrauben, Nägel etc. sammelt, auch wenn man im Augenblick nicht weiß, wann und wie dieses oder jenes Stück verwendet werden soll.
Holz ist ein wichtiger Baustoff. Man erhält Sperrholzplatten in den in jeder größeren Stadt anzutreffenden Geschäften für Bastlerbedarf um wenig Geld. Holz läßt sich leicht und sauber mit einfachen Werkzeugen bearbeiten. Hat man einmal eine Arbeit auszuführen, für die kein Werkzeug zur Verfügung steht, dann fertigt man eine kleine Zeichnung an und geht damit zu einem Fachmann.
Als Isolierstoff verwendet man hauptsächlich Pertinax. Es kann in beliebigen Größen in einem Fachgeschäft billig bezogen werden. Pertinax besteht aus Schichten geeigneten Papiers, das mit Kunstharz unter Druck und Hitze zusammengepreßt wird. Der große Vorteil gegenüber anderen Isolierstoffen liegt in der weitgehend mechanischen Bearbeitbarkeit. Pertinax läßt sich leicht sägen und bohren.
Man verwendet grundsätzlich nur scharfe Werkzeuge. Zum Schneiden nimmt man besonders harte Sägeblätter, z. B. Laubsägeblätter für Metall, doch muß das Sägeblatt öfter ausgewechselt werden, weil die Zähne sehr schnell abstumpfen, so daß sich ein schön geradelaufender Schnitt nicht mehr erreichen läßt. Dünnes Pertinax muß entsprechend vorsichtig behandelt werden, damit die Kanten nicht einreißen. Zum Zerkleinern von dünnen Platten (dünner als 1 mm) ritzt man diese beid-

Tafel 1

Abb. 1: Gutes Werkzeug – halbe Arbeit
Für den Anfänger genügt es, gutes und zweckmäßiges Werkzeug nach und nach zu beschaffen. Hier eine Anregung

Obere Reihe von links nach rechts:
Wasserpumpenzange, verstellbar
Telefonzange, oval-spitzwinkelig, gebogen
Rundzange
Feinmechanikerzange, oval-spitz
Drahtzange
Abisolierzange, verstellbar

Untere Reihe von links nach rechts:
Justierzange, flach
Justierzange, flach-abgewinkelt
Seitenschneider
Stechzirkel
Schraubendreher
Pinzette



Tafel 2
Abb. 2: Die Weller-Lötstation
Schwierige Lötarbeiten gelingen nur mit gutem Lötwerkzeug

seitig mit einer Reißnadel kräftig ein und bricht sie dann ab. Soll Pertinax geklebt werden, so rauht man die zu klebenden Flächen mit einer Raspel, einer alten Feile oder mit Schmirgelpapier gut auf. Als Klebemittel verwendet man am besten »Uhu plus«. Die geklebten Teile müssen mit einer Schraubzwinge oder mit dem Schraubstock so lange unter Druck gehalten werden, bis der Klebstoff hart geworden ist. Näheres s. S. 39.

Hartgummi, Vinidur, Polystyrol usw. sind weitere Isoliermaterialien, die ebenfalls sehr leicht bearbeitet werden können. Ihre Biegefähigkeit ist besonders vorteilhaft. Durch Erwärmung kann man jede gewünschte Form erreichen. Allerdings: Vorsicht beim Erhitzen über offener Flamme, da diese Stoffe brennen! Man erwärmt sie deshalb in siedendem Wasser oder in Wasserdampf. Nach genügender Erwärmung biegt man das Arbeitsstück vorsichtig in die gewünschte Lage. Das abgebogene Stück muß bis zum Erkalten eingespannt bleiben. Auseinandergebrochene Stücke klebt man mit einem geeigneten Klebemittel zusammen. Vor dem Kleben rauht man die Bruchstellen mit Schmirgelpapier gut auf.

Zum Imprägnieren von Holz kann man Paraffin verwenden, das man in einem eisernen Gefäß bis zum Flüssigwerden erwärmt. Auch hier Vorsicht bei offener Flamme! Hat das Paraffin durch irgendwelche Umstände Feuer gefangen, wird die Flamme durch schnelles Schließen des Gefäßes mit einem Deckel zum Verlöschen gebracht. Soll Holz oder irgendein anderer Stoff in Paraffin getränkt bzw. ausgekocht werden, hängt man den Gegenstand an ein Stück Draht und taucht ihn vorsichtig ein. Die in dem Arbeitsstück noch vorhandene Feuchtigkeit läßt das Wachs stark aufbrausen (Vorsicht vor Spritzern!). Erst nachdem sich das Paraffin wieder beruhigt hat, ist das Arbeitsstück vollkommen ausgekocht und vom Paraffin durchtränkt. Es wird nun einige Zeit über den Behälter gehängt, damit das überflüssige Paraffin abtropfen kann.

Farben und Lacke verleihen den Geräten neben gutem Oberflächenschutz auch ein gefälliges Aussehen. Es bleibt hier der Phantasie überlassen, welche Farbe man wählt. Die heute üblichen Spray-Farben gibt es in allen Farbtönen. Sie sind leicht und mühelos anzuwenden. Ein ganz vorzügliches Mittel zum Grundieren von Holzteilen ist Schellack. Man erhält ihn in jeder Farbenhandlung. Ist der Schellack noch nicht aufgelöst, dann setzt man ihm selbst so viel Spiritus zu, bis ein dickflüssiges

Gemisch entsteht. Beim Umgang mit Spiritus ist Vorsicht erstes Gebot! Also weg mit offenem Licht, Lötkolben, Streichhölzern usw.
Sehr wichtige Bestandteile des Vorratslagers bilden Spulendrähte verschiedenen Durchmessers. Die Anschaffung ist zuweilen (je nach Menge) sehr kostspielig. Es ist also zweckmäßig, bei Altwarenhändlern regelmäßig nach alten unbrauchbaren Bauteilen, wie z. B. alten Transformatoren, Drosseln oder sonstigen Spulen, Umschau zu halten. Die meist sehr billig erstandenen Sachen werden dann zerlegt und der Draht abgewickelt. Man bewahrt ihn am besten auf kleinen Spulenkörpern auf, die leicht selbst hergestellt werden können.
Für das Materiallager sollte man sich aus Kistenbrettern eine Lagerkiste mit verschließbarem Deckel anfertigen, die ordentlich eingeräumt und im Speicher oder Keller aufbewahrt werden kann.

4.3 Elektrotechnische Einzelteile

In der Elektrotechnik spielen Vorrichtungen von lösbaren Kontakten eine große Rolle. Man verwendet hierzu Steckdosen, Buchsen, Kupplungen usw. Diese Teile gibt es in großer Auswahl, und sie sind billig in Elektrogeschäften oder bei Rundfunkhändlern zu kaufen. Für Starkstromanschluß (*größte Vorsicht*, siehe später!) werden Steckdosen verwendet. Man unterscheidet zwischen Unterputz- und Aufputzsteckdosen. Diese haben entsprechende dünnwandige Stellen, die mit einer Zange bequem ausgebrochen werden können. Durch diese Stellen werden die Leitungen geführt.
Es gibt auch Steckdosen mit Sicherungen. Sie sind zweckmäßig, weil bei einem Leitungskurzschluß zuerst die schwächer dimensionierten Steckdosensicherungen durchbrennen, während die Sicherungen am Lichtzähler geschont werden. Nach Abnehmen der Schutzhaube können durchgebrannte Sicherungen ausgetauscht werden. Die Sicherungen sind billig; es soll immer ein kleiner Vorrat davon zur Verfügung stehen. Bei Geräten, die nachträglich abgesichert werden sollen, ist es vorteilhaft, handelsübliche Einbausicherungselemente zu verwenden.
Die gewöhnlichen *Radiobuchsen* bestehen aus Metall und haben eine 4-mm-Bohrung. Sie werden durch die Bohrungen der Platte, auf der sie angebracht werden sollen, gesteckt und von der Rückseite mit Muttern

befestigt. Zum Anziehen der Muttern besitzen manche Fabrikate am Kopf der Buchse einen Schlitz, durch den sie mit einem Schraubenzieher festgehalten werden können. Der Draht wird unter eine zweite Mutter geklemmt, die man dann festzieht. Es gibt auch Buchsen mit Lötansatz, bei denen der Draht in den verjüngten Ansatz gesteckt und eingelötet wird. Um die einzelnen Buchsen leicht unterscheiden zu können, verwendet man farbige Isolierkappen, die außerdem noch jede Berührungsgefahr beseitigen. Diese Buchsen können auch in Metallplatten isoliert eingesetzt werden. Sie sind für unsere Arbeiten am besten geeignet.

Am häufigsten wird der *Bananenstecker* verwendet, so genannt wegen seiner bananenartigen Kontaktform. Der normale Stecker besteht aus einer Isolierhülse, die an einem Ende eine Öffnung für die Einführung des Drahtes besitzt. Der Draht wird mit einer Madenschraube (Schraube ohne Kopf) befestigt. An der anderen Seite befindet sich der federnde Steckerstift. Außerdem gibt es zahlreiche Sonderstecker, besonders in Miniaturausführung. In diesem Zusammenhang empfehlen wir, sich von den großen, im Buchanhang verzeichneten Versandgeschäften Kataloge zu beschaffen, die ein riesiges Angebot aufweisen.

Sollen mehrere Leitungen schnell und leicht miteinander verbunden werden, dann bedient man sich der *Kupplungen*. Sie bestehen aus einer Buchse mit darübergeschobener Isolierhülse. Der Draht wird mit einer seitlich angebrachten Madenschraube befestigt. Sollen zwei Leitungen miteinander verbunden werden, muß natürlich das Ende einer Leitung stets einen Stecker besitzen, der in die Kupplung gesteckt wird.

Außer durch Stecker und Buchsen lassen sich Verbindungen zwischen Leitungen und Kontaktteilen unserer Geräte auch durch Klemmen herstellen. Man verwendet am besten die *Apparate-* oder *Geräteklemme*, bestehend aus einer 4-mm-Schraube, deren Kopf mit einer von einer Isolierhülse umgebenen Buchse versehen ist. Die Buchse hat eine 4-mm-Bohrung, so daß jeder normale Stecker hineinpaßt. Sie besitzt ferner noch eine Querbohrung für andere Anschlüsse. Man steckt z. B. den Draht in die Querbohrung und zieht dann die Klemmschraube fest. Die 4-mm-Schraube hat auch noch zwei Muttern, mit denen die Apparateklemme auf Frontplatten, Grundbrettchen u. dgl. befestigt werden kann. Sollen Litzen oder andere Anschlußdrähte mit sicherem Kontakt eingeklemmt werden, dann bedient man sich der *Lötösen* oder *Kabel-*

schuhe. Sie werden durch Anlöten befestigt und mit ihrer ringförmigen Öffnung durch Anschrauben festgeklemmt. Lötösen und Kabelschuhe kosten nur ein paar Pfennige und sind in den verschiedensten Größen erhältlich. Da bei diesen Arbeiten stets auf guten elektrischen Kontakt geachtet werden muß, legt man sich am besten einen kleinen Vorrat davon an.
Ein nicht zu unterschätzendes Hilfsmittel für den schnellen Anschluß von Verbindungsleitungen ist die *Krokodilklemme*. An ihr befinden sich eine oder zwei isolierte Buchsen zum Einführen eines Bananensteckers. Will man die Klemme an irgendeiner Stelle befestigen, dann wird sie scherenförmig auseinandergedrückt. Durch eigene Federkraft schließt sie sich dann von selbst und hält fest.
Ein weiteres wichtiges Hilfsmittel ist die *Nietverbindung*, entweder zum Zusammenhalten zweier Metall- oder Isolierstoffteile oder zum Befestigen von Kontakten und Anschlüssen. Man verwendet Rohrnieten, die in außerordentlich kurzer Zeit zu befestigen sind und an Haltbarkeit gegenüber Schraubverbindungen kaum zurückstehen.

4.4 Klebetechnik

Bei all diesen Arbeiten hat man es oft mit umfangreichen Klebearbeiten zu tun, so daß es sich lohnt, diesen Fragen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die moderne Klebetechnik hat viele hervorragende Klebemittel geschaffen, die sich bestens eignen.
Selbstverständlich muß man mit besonderer Sorgfalt zu Werke gehen, damit man eine einwandfreie Klebung zustande bringt. Sorgfalt aber auch schon bei der Herstellung der zu klebenden Einzelteile, denn wenn man falsche oder fehlerhafte Teile aneinanderklebt und wenn die Klebung einwandfrei ist, wird es in den meisten Fällen nicht mehr gelingen, die Klebestellen zu trennen, und alle Mühe war umsonst. Alle Klebemittel erhält man in den einschlägigen Fachgeschäften, z. B. Fotogeschäften, Drogerien, Eisenwarenhandlungen usw. Die Lieferung erfolgt in Tuben oder Dosen, und es ist zweckmäßig, vor Beginn der Arbeit die jeweilige Gebrauchsanweisung zu studieren.
Nun zum Kleben selbst!
Grundsätzlich sollte man beachten, daß die Flächen, die mit Klebstoff

bestrichen werden, sauber, trocken und fettfrei sind. Die Haftfähigkeit wird entsprechend größer, wenn man die Flächen mit rauhem Schmirgelpapier schleift.
Für Holz im allgemeinen, Holzfaserplatten, Dämmplatten usw. sowie Kunststoffplatten, wie z. B. Resopal, Duropal, Allopal u. ä., genügt in den meisten Fällen eine Tube Alleskleber. Für größere Flächen ist eine größere Dose natürlich wirtschaftlicher. Beim Studium der Gebrauchsanweisung wird der Hinweis »Achtung, feuergefährlich« auffallen. Diese Tatsache muß man besonders beachten. Keine Klebearbeiten bei offenem Licht oder Feuer usw.!

4.5 Kleben von Metallen – eine feine Sache

Am Anfang wird der Bastelraum noch etwas spärlich eingerichtet sein. Vor manchen Arbeiten, insbesondere Metallarbeiten, wird man deshalb vielleicht zurückschrecken, weil man im Augenblick nicht die erforderlichen Bearbeitungswerkzeuge zur Verfügung hat. Hier leistet ein Spezialkleber, z. B. »UHU-plus«, vorzügliche Dienste. Metallteile, die sonst durch Verschraubung, Nietung oder durch Löten miteinander verbunden werden mußten, können nun geklebt werden. »UHU-plus« ist ein sogenannter Zweikomponentenkleber, der ebenfalls in den erwähnten Fachgeschäften erhältlich ist.
Der Kleber wird in zwei Tuben oder Büchsen geliefert. Davon enthält eine Tube bzw. Büchse Harz – auf der Basis von Epoxidharzen – die andere den Härter. Beide Substanzen, die von pastenartiger Beschaffenheit sind, müssen im Mischungsverhältnis 1:1, d. h. ein Teil Harz und ein Teil Härter, angerührt werden. Das kann in einer kleinen Glasschale oder auf einer Glasplatte erfolgen. Das Mischungsverhältnis braucht nicht genau eingehalten zu werden – es kann z. B. 1:0,6 oder 1:1,4 sein –, so daß ein Mißlingen kaum in Frage kommt.
Von besonderer Wichtigkeit ist, daß der einmal angerührte, d. h. gemischte Klebstoff in kürzester Zeit auch verbraucht wird. Gebrauchsfertige Mischungen haben eine sogenannte Topfzeit von 1 bis 1½ Stunden. Das Auftragen des Klebers erfolgt entweder mit einem Pinsel (sehr kurze Borsten) oder mit einer kleinen Spachtel, die wir gegebenenfalls aus Holz schnitzen können.

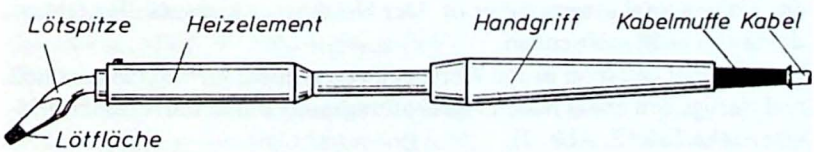
Die Klebstoffschicht muß dünn und gleichmäßig am besten auf beide Flächen aufgetragen werden. Sofern Teile während der Aushärtung auseinandergleiten können, sind sie entsprechend zu fixieren (Schnur, Bindedraht usw.).
Unter *Aushärtung* versteht man den Vorgang, der sich während der Trocknungsperiode vollzieht. Das kann bei normaler Raumtemperatur oder im Ofen erfolgen. Bei normaler Raumtemperatur ergibt sich nach etwa fünfzehn Stunden Trocknungszeit eine Festigkeit von 70 Prozent. Bei Ofentemperatur (Bratrohr u. dgl. in offenem Zustand) ist die Festigkeit bei 70 Grad und einer Stunde Trocknungszeit bereits 80 bis 98 Prozent und erreicht schon nach etwa fünf Stunden ihren größten Wert. Stabilit-express ist ebenfalls ein sehr brauchbarer Kleber. Auch hier handelt es sich um einen Zweikomponentenkleber; die Verarbeitung ist ähnlich wie bei UHU-plus. Die Aushärtezeit beträgt ca. 20 Min.
Araldit-Gießharze eignen sich für unsere Arbeiten ganz hervorragend, weil sich das Material nach dem Aushärten gut bearbeiten läßt. Zu beziehen sind diese Klebemittel in Drogerien, Farbenhandlungen und in Hobby-Fachgeschäften.

4.6 Richtig löten

Zu den wichtigsten Handfertigkeiten in der Elektrotechnik gehört das Löten. Das Löten mit Zinn, im Handwerk Weichlöten genannt, ist schwierig zu erlernen. Man versteht darunter Lötvorgänge, bei denen mit einem leistungsmäßig an die Lötstelle angepaßten elektrisch beheizten Lötkolben metallische Teile, unter Zuhilfenahme von Flußmitteln und Zinn, einwandfrei verbunden werden. Neben der notwendigen mechanischen Festigkeit der Lötstelle soll der elektrische Übergangswiderstand so klein wie möglich sein, damit unerwünschte Spannungsabfälle vermieden werden.
Im allgemeinen darf ein Lötvorgang nicht länger als eineinhalb bis zwei Sekunden dauern, deshalb ist die richtige elektrische Leistung wichtig. Wählt man sie zu klein, so muß man die Lötstelle sehr lange erwärmen, damit das Lötzinn zum Fluß kommt. Die auf dem zu lötenden Material entstehende Wärme ist unerwünscht, außerdem werden Drahtisolationen, wärmeempfindliches Isoliermaterial, Transistoren und sonstige

Bauelemente übermäßig beansprucht oder beschädigt. Bei einem Lötkolben mit zu kleiner elektrischer Leistung fließt das Lötzinn schlecht, es entstehen »kalte« Lötstellen, die Anfänger oft erzeugen. Es handelt sich hier um Lötungen, die trotz guter Beurteilung durch das Auge und durch Rütteln mit einer Zange als mechanisch fest beurteilt werden. Sie haben jedoch einen so hohen elektrischen Übergangswiderstand, daß die Funktion der Schaltung in Frage gestellt ist.
Ein Lötkolben mit zu großer elektrischer Leistung wird zu heiß. Auf Grund der geringen Wärmeabfuhr verbrennt und verzundert die aus Kupfer bestehende Lötspitze. Da auch das Flußmittel zu rasch verdampft, kann das Zinn nicht richtig fließen, so daß keine einwandfreie Lötung zustandekommt.
Der Lötvorgang darf, wie schon erwähnt, nicht länger als 1–2 Sekunden dauern; dann arbeitet man mit dem richtigen Lötkolben. Eine einwandfreie Lötstelle erkennt man an der glatten, silbrig glänzenden Oberfläche, wobei der Zinnauftrag möglichst gering sein soll.
In Abb. 7 ist ein Ersa-Standardlötkolben dargestellt, dessen Heizleistung bei 220 V Anschlußspannung 80 W beträgt. Die Lötspitzentemperatur erreicht nach etwa 3 Minuten ca. 410° C. Kupferspitze und Heizpatronen sind auswechselbar. Dieser Lötkolben eignet sich für den Anfänger. Erfahrungsgemäß bleibt man auf die Dauer nicht bei einem Typ. Mit zunehmender Arbeitspraxis lernt man die Vor- und Nachteile verschiedener Lötkolbenspitzen kennen, und mit steigender Routine wachsen auch die Ansprüche an die eigene Lötstation. Die einschlägige Industrie bietet eine große Auswahl von Spezial-Lötkolben an. Wer auf die Anschaffungskosten nicht allzusehr zu achten braucht, wählt am besten einen Typ mit eingebauter Temperaturautomatik. Abb. 8 zeigt einen selbstregelnden Lötkolben der Fa. Weller. Die Lötspitzentemperatur wird nach dem Prinzip der magnetischen Regelung stets auf glei-

Abb. 7 Standard-Lötkolben 220 V/80 W



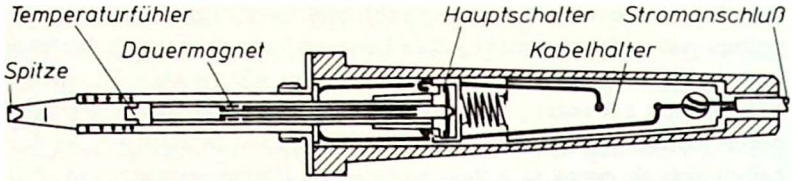


Abb. 8 Selbstregelnder Lötkolben (Fa. Weller)

cher Höhe gehalten. Die mit der Lötspitze fest verbundene Metallkappe ist der Temperaturfühler dieses Systems, der Magnastat. Er ist ferromagnetisch, d. h. er zieht wie Eisen einen Magneten an. Die Zahl auf dieser Kappe ist die Kodierung für die Regeltemperatur. Wird diese Temperatur beim Aufheizen erreicht, so verliert der Magnastat schlagartig seine ferromagnetischen Eigenschaften. Der Physiker spricht hier vom Curie-Effekt. Bei Unterschreitung der Regeltemperatur kippt der Magnastat wieder in den ferromagnetischen Zustand zurück. Dieses Kippverhalten ist sehr stabil. Es unterliegt keinem Verschleiß durch Alterung oder Metallermüdung wie Bimetallregelung oder Metallstabregelung. Es finden also weder heimliche Temperaturverschiebung noch Leistungsverlust statt. Da die Regeltemperaturen von Magnastat zu Magnastat in sehr engen Toleranzen gehalten werden können, ist mit einer konstanten Temperatur über die gesamte Gerätestreuung und Jahrzehnte zu rechnen.

Die Werte des Magnastaten werden an den Schalter übertragen. Dieser ist im Prinzip so aufgebaut, daß ein Dauermagnet seine durch den Magnastaten verursachte Eigenbewegung über eine Schubstange auf eine Kontaktbrücke überträgt und somit den Heizstrom ein- und ausschaltet. Der Schalter ist hermetisch abgeschlossen. Da der Magnastat ein Teil der Lötspitze ist, wird der Energieverlust, der durch Abstrahlung oder beim Löten entsteht, exakt nachgeschoben. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung besteht darin, daß beim Auswechseln der Spitze der Kolben total ausgeschaltet ist. Der Heizkörper kann also bei fehlender Spitze nicht ausbrennen.

Die Weller-Lötstation ist ein Werkzeug von großem Gebrauchswert und rechtfertigt den etwas hohen Anschaffungspreis durch universellen Einsatz (siehe Tafel 2, Abb. 2).

Zum guten Lötkolben gehört auch das geeignete Zinnlot. In der Elektrotechnik wird allgemein ein Lot mit 60 % Zinngehalt verwendet. Es gibt Sonderlegierungen mit höherem und niedrigerem Zinngehalt, deren Verwendung für den Bastler im allgemeinen nicht in Frage kommt. Das zum Löten erforderliche Flußmittel muß während des Lötvorgangs eine Oxydation verhindern und den Zinnfluß beschleunigen. Säuren, Lötfette und sonstige Präparate, die im Handel angeboten werden, sind für elektrotechnische Arbeiten ungeeignet. Am besten bewährt sich Kolophonium, das von Fachgeschäften bezogen werden kann. Für kleine Lötarbeiten, mit denen sich der Elektrotechniker am meisten beschäftigt, eignet sich der Fluitin-Lötdraht am besten. Dieser Draht hat ein aus Kolophonium bestehendes Flußmittel, sowie das richtige Zinn-Blei-Mischungsverhältnis.

5. Die wichtigsten elektrotechnischen Grundlagen

5.1 Strom – Spannung – Widerstand

Strom – Spannung – Widerstand – drei Begriffe, die stets wiederkehren und wichtig sind.

Es ist bekannt, daß die Elektrizität aus kleinen Teilchen, den Elektronen besteht, siehe S. 12. Elektrische Erscheinungen werden wahrgenommen, wenn die Elektronen auf zwei Körpern verschieden stark vertreten sind. Man sagt dann, zwischen den beiden Körpern besteht eine elektrische *Spannung*, die in *Volt (V)* gemessen wird. Man rechnet mit folgenden Einheiten:

1 Megavolt (MV) = 1000 Kilovolt (kV)
1 Kilovolt (kV) = 1000 Volt (V)
1 Volt (V) = 1000 Millivolt (mV)
1 Millivolt (mV) = 1000 Mikrovolt (µV)

Schafft man zwischen den beiden erwähnten Körpern eine die Elektronen leitende Verbindung, so fließen sie hindurch. Diesen Elektronenfluß nennt man *Strom*. Er wird in *Ampere (A)* gemessen. Als Einheiten gelten:

1 Kiloampere (1 kA) = 1000 Ampere (A)
1 Ampere (A) = 1000 Milliampere (mA)
1 Milliampere (mA) = 1000 Mikroampere (μA).

Was nun der elektrische Widerstand ist und wie Spannung, Strom und Widerstand zusammenhängen, soll jetzt gezeigt werden*.

Man denkt sich ein hochstehendes, mit Wasser gefülltes Glas durch ein weites und ein enges Rohr mit einem tiefer befindlichen Gefäß so verbunden, wie es Abb. 9 zeigt. Natürlich wird dann in dem weiten Rohr mehr Wasser nach unten fließen als in dem dünnen; ein dünneres Rohr setzt der strömenden Flüssigkeit einen größeren Widerstand entgegen. Der Widerstand eines Rohres ist also um so größer, je kleiner sein Querschnitt ist. Aber es spielt auch noch ein anderer Faktor eine Rolle, den Abb. 10 erläutern soll. Es handelt sich hier um eine lange und eine kurze Rohrverbindung zwischen den beiden Gefäßen. Beide Rohre haben den gleichen Querschnitt. In welchem Rohr wird wohl hier die stärkere Strömung herrschen? Die Antwort ist einfach. Zweifellos wird das lange Rohr mehr Widerstand bieten.

Diese Erfahrungen können ohne weiteres auf den elektrischen Strom übertragen werden. Der *Druck*, den eine Flüssigkeitssäule ausübt, ist die *Spannung*, der Flüssigkeitsstrom entspricht dem *elektrischen Strom*. Wie steht es nun mit dem Widerstand?

Denkt man sich die Pole der Elektroden (so nennt man die Anschlüsse einer »Stromquelle«) durch einen sehr dünnen Draht verbunden, so wird sich dieser Draht allmählich sehr stark erwärmen. Stellt man mit einem Thermometer die in einer bestimmten Zeit erreichte Temperaturerhöhung in Graden fest und ersetzt dann den Draht durch einen noch dünneren aus dem gleichen Stoff, so wird die Temperaturzunahme bei

* Die Bezeichnungen Volt und Ampere halten die Erinnerungen an zwei große Physiker, den Italiener Volta und den Franzosen Ampère, wach. Volta hat sich um die Untersuchung der Gesetze des elektrischen Stromes verdient gemacht, während Ampère sich vor allem mit den Beziehungen zwischen Elektrizität und Magnetismus beschäftigte.

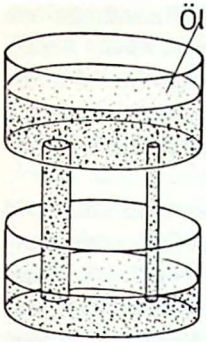


Abb. 9 Zum Verständnis des Ohmschen Gesetzes

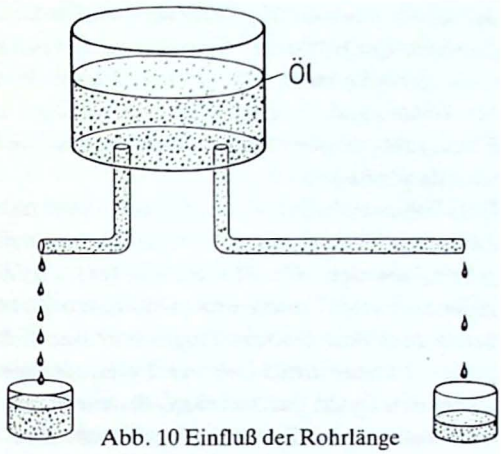


Abb. 10 Einfluß der Rohrlänge

diesem Draht in der gleichen Zeit geringer sein. Da nun die Spannung der Stromquelle oder ihre elektromotorische Kraft gleichbleibt, kann man die verschiedene Wärmewirkung des Stromes nur einer in beiden Fällen verschiedenen Stromstärke zuschreiben. Und da sich bei den Versuchen nur der Querschnitt des Leiters änderte, liegt der Schluß nahe, daß die Querschnittsänderung die Änderung der Stromstärke hervorgerufen hat.

Hätte man den gleichen Versuch mit einem langen und einem kurzen Draht von gleichem Querschnitt gemacht, so würde man das gleiche Ergebnis zu verzeichnen haben. Der lange Leiter hätte sich in der gleichen Zeit weniger stark erhitzt.

Beide Feststellungen sind Beweise dafür, daß jeder Leiter (also jeder Stoff, der den elektrischen Strom weiterführt, in diesem Fall der Draht) dem elektrischen Strom einen *Widerstand* entgegensetzt, den man treffend mit dem Reibungswiderstand vergleichen kann, den Flüssigkeiten in einem langen, engen Rohr finden (Leiter sind in erster Linie Metalle. Das Gegenteil von Leitern sind Nichtleiter oder Isolatoren).

Nun ist aber hier noch ein dritter Faktor in Betracht zu ziehen, für den man bei strömenden Flüssigkeiten keine Vergleichsmöglichkeiten hat. Dem Wasser ist es ganz gleichgültig, ob es in einem Rohr aus Kupfer, Blei, Eisen oder aus irgendeinem anderen Stoff fließt. Der elektrische Widerstand aber hängt sehr eng mit dem Material zusammen, aus dem

der Leiter besteht. Kupferdraht leitet weit besser als Eisendraht von gleichem Querschnitt und gleicher Länge, und Silber leitet wieder besser als Kupfer. So bietet also ein Silberdraht dem elektrischen Strom weniger Widerstand als ein Draht aus Kupfer, und dieser weniger als ein Eisendraht, immer natürlich Drähte gleicher Länge und gleichen Querschnitts vorausgesetzt.

Drei Faktoren haben also auf den Widerstand eines Leiters Einfluß: Die *Länge* des Leiters, seine *Dicke* und seine stoffliche *Beschaffenheit*. Daraufhin läßt sich eine Maßeinheit für den Widerstand festlegen. Man stelle sich eine Stromquelle vor, deren Spannung 1 Volt beträgt und deren zwei Pole ein sehr langer und ziemlich dünner Kupferdraht verbindet. Entsprechend früheren Feststellungen wird dann ein schwacher Strom den Draht durchfließen, dessen Stärke höchstens nach Bruchteilen eines Ampere (bekanntlich: Stromstärke wird in »Ampere« gemessen) zu berechnen ist. Verkürzt man den Draht allmählich, so vermindert sich der Widerstand, und die Stromstärke wächst. Genau 1 Ampere ergibt sich bei einem Kupferdraht von 1 mm^2 Querschnitt (mm^2 = Quadratmillimeter. Also im Querschnitt so groß wie ein Würfel von je 1 mm Seitenlänge) und 50 m Länge. Hätte man einen Quecksilberfaden von gleichem Querschnitt zur Verbindung genommen, so würde die Stromstärke von 1 Ampere bei einer Länge von 1,06 m erreicht werden. Der Widerstand dieses Quecksilberfadens von 1,06 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt oder des 50 m langen Kupferdrahtes von 1 mm^2 Querschnitt bei 0° Celsius bildet nun die Widerstandseinheit, das Vergleichsmaß, und diese Widerstandseinheit führt in der Elektrotechnik die Bezeichnung *Ohm*, zu Ehren eines Physikers gleichen Namens. Ohm hat die grundlegenden Beziehungen zwischen Strom, Spannung und Widerstand entdeckt. Als Symbol für das Ohm wird das griechische Omega (Ω) verwendet, weil ein lateinisches O leicht für eine Null gehalten werden könnte.

Es gibt folgende Einheiten:

1 Megohm (MΩ) = 1000 Kiloohm (kΩ)
1 Kiloohm (kΩ) = 1000 Ohm (Ω)
1 Ohm (Ω) = 1000 Milliohm (mΩ)

Ein Ohm ist somit der Widerstand eines Leiters, der bei einer Spannung von 1 Volt einen Strom von 1 Ampere durchläßt. Damit ist eine Beziehung zwischen Strom, Spannung und Widerstand aufgestellt, die man

vielfach ausnutzen kann und die in der Elektrotechnik als *Ohmsches Gesetz* eine sehr große Rolle spielt. Auf das Gesetz soll hier näher eingegangen werden, da es bei späteren Berechnungen oft angewendet werden muß.

Wegen des richtigen Verständnisses sei kurz wiederholt: Je geringer der Widerstand, desto stärker der Strom, vorausgesetzt, daß die Spannung gleichbleibt. Verdoppelt man die Spannung, so läßt sich durch Messung feststellen, daß die Stromstärke sich ebenfalls verdoppelt, vorausgesetzt, daß der Widerstand gleichbleibt. Wird der Widerstand größer, sinkt die Stromstärke entsprechend. Hier setzt nun das Ohmsche Gesetz zum erstenmal ein und drückt die soeben gefundene Tatsache in einem knappen Satz folgendermaßen aus: Die Stärke des Stroms, der in einem Leiter fließt, nimmt mit dem Wachsen der Spannung im gleichen Verhältnis zu, sinkt aber mit zunehmendem Widerstand. Bezeichnet man, wie es in der Praxis gebräuchlich ist, den Widerstand mit R, die Stromstärke mit I und die Spannung mit U, so läßt sich dieser Satz auch durch die Gleichung

$$I = \frac{U}{R}$$

ausdrücken. Natürlich läßt sich aus dieser Gleichung bei zwei bekannten Größen immer die dritte berechnen. Beträgt z. B. die Spannung U = 100 Volt und ist der Widerstand des Leiter gleich 50 Ohm, so beträgt der darin fließende Strom I = 100:50 = 2 Ampere. Weiter ergibt sich durch einfache Anwendung der algebraischen Regeln, daß

$$U = I \cdot R$$

ist. Man erhält also die Spannung, wenn man den Widerstand des stromdurchflossenen Leiters mit der Stromstärke multipliziert. Macht man mit den Zahlen die Probe, so ergibt sich U = 2·50 = 100 Volt, wie vorher angenommen. Durch eine weitere Umstellung findet sich auch noch eine Formel für den Widerstand selbst, denn es ist

$$R = \frac{U}{I}$$

Den Widerstand eines Leiters erhält man also, wenn man die Spannung durch die Stromstärke dividiert. Die Formel sagt hier das gleiche wie die

Begriffsbestimmung, die oben gegeben wurde. Führt man die Rechnung mit den angegebenen Zahlen aus, so ergibt sich R = 100:2 = 50 Ohm. Das ist die Ausgangszahl. Diese wenigen Beispiele lassen die vielfache Anwendungsmöglichkeit des Ohmschen Gesetzes deutlich erkennen.

5.2 Elektrische Leistung und elektrische Arbeit

Zur Erwärmung eines Leiters wird elektrische Energie verbraucht. Sie kommt nur dann zustande, wenn Strom durch eine Leitung mit bestimmten Widerstand fließt. Das Zustandekommen des Stromes ist jedoch an das Vorhandensein einer treibenden Kraft, nämlich der Spannung, gebunden. Nach dem Ohmschen Gesetz wird der Strom um so größer sein, je größer die Spannung ist. Folglich ist leicht einzusehen, daß die erzeugte *elektrische Leistung* sowohl vom Strom als auch von der Spannung abhängt. Das Produkt aus beiden Werten entspricht der Leistung P, die in der Einheit *Watt (W)* gemessen wird. (Diese Maßeinheit ist nach dem englischen Erfinder der Dampfmaschine, James Watt, benannt).

Als Rechenwerte sind festgesetzt:

1 Megawatt (MW) = 1000 Kilowatt (kW)
1 Kilowatt (kW) = 1000 Watt (W)
1 Watt (W) = 1000 Milliwatt (mW)
1 Milliwatt (mW) = 1000 Mikrowatt (μW)

In unserer modernen Technik braucht man sich nicht der Mühe zu unterziehen, die elektrische Leistung zu errechnen. Sie ist bei allen elektrischen Geräten bekannt. Man kauft z. B. eine 60-W-Glühlampe oder einen elektrischen Ofen mit einer Heizleistung von 2000 Watt. Neuerdings wird auch die Motorleistung von Autos in Watt angegeben. Die bisherige Angabe von PS (Pferdestärke) verschwindet allmählich und die Tatsache, daß 736 Watt ein PS sind, wird man bald vergessen.

Im allgemeinen interessiert nicht nur, welche Leistung ein Verbraucher einer Stromquelle entnimmt, sondern auch die Dauer der Leistungsentnahme. Der Nutzen, den das Gerät bringt, ist um so größer, je länger es in Betrieb ist. Man braucht nur an einen elektrischen Ofen zu denken. Das Produkt aus Leistung (P) und Zeit (t) ist daher ein Maß für die von der Stromquelle geleistete Arbeit, die wie jede andere Art von Arbeit

auch bezahlt werden muß. Diese *elektrische Arbeit* (Abkürzung A) wird in *Wattstunden (Wh)* gemessen. (Das h kommt vom lateinischen hora = Stunde).
In der Praxis rechnet man mit

1 Megawattstunde (MWh) = 1000 Kilowattstunden (kWh)
1 Kilowattstunde (kWh) = 1000 Wattstunden (Wh)
1 Wattstunde (Wh) = 3600 Wattsekunden (Ws),

ferner mit Milliwattstunden (mWh) und Mikrowattstunden (μWh).

6. Stromquellen

6.1 Galvanische Elemente

Beginnen wir mit dem Einfachsten! Taucht man zwei verschiedene Metalle, z. B. Zink und Kupfer, ohne gegenseitige Berührung in verdünnte Schwefelsäure, so wird das Zink zunächst von der Säure angegriffen. Durch diesen Vorgang entsteht schwefelsaures Zinkoxid. Das Wasser, mit dem die Schwefelsäure verdünnt wurde, wird zersetzt, und es steigt Wasserstoff in Form von kleinen Bläschen am Zink empor. Abb. 11 zeigt uns die Anordnung eines solchen Elementes.
Werden nun die beiden Metalle außerhalb der Flüssigkeit miteinander verbunden, entsteht ein elektrischer Strom. Gleichzeitig hört die Gasentwicklung am Zink auf. Der Wasserstoff wird von dem elektrischen Strom an das Kupfer geführt und steigt erst, wenn er dieses vollständig bedeckt hat, langsam an die Oberfläche. Diese einfache und nur aus zwei verschiedenen Metallen und einer Flüssigkeit bestehende Einrichtung nennt man zu Ehren des italienischen Arztes Galvani: galvanisches Element. Der Strom, der aus diesem Element gewonnen wird, wird galvanischer Strom genannt. Soll der Versuch durchgeführt werden, so muß man beachten, daß Schwefelsäure sehr giftig ist und alle Stoffe zerstört. Also Vorsicht vor Spritzern: Beim Verdünnen muß stets die Säure

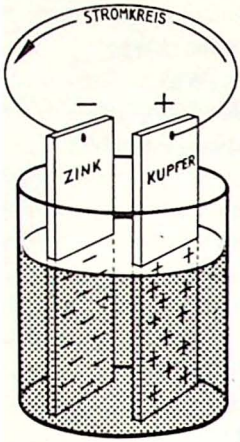


Abb. 11 Zink-Kupfer-Element

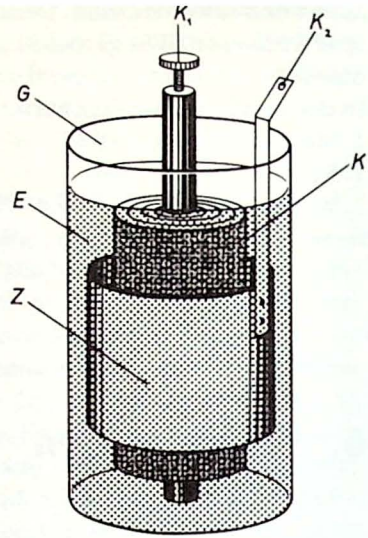


Abb. 12 Leclanché-Element

in das Wasser gegossen werden, nie umgekehrt; sonst sind Spritzer unvermeidlich. Beim Verdünnen erwärmt sich die Lösung, so daß man am besten mit einem alten Tontopf arbeitet.

Für Dauerbetrieb ist solch ein Element nicht geeignet, weil der Wasserstoff das Kupfer nach einiger Zeit so stark einhüllt, daß der Stromfluß aufhört. Dieser Effekt, Polarisation genannt, wird wieder aufgehoben, wenn man das Kupfer herausnimmt und die Wasserstoffbläschen entfernt. Da das auf die Dauer zu umständlich ist, umgibt man das Kupfer mit einer Substanz, die die Wasserstoffbläschen im Augenblick des Entstehens aufnimmt. Das nennt man Depolarisation. Je nach dem verwendeten »Depolarisator« gibt es die verschiedensten, heute jedoch bedeutungslosen Elementarten.

Das bekannteste und gebräuchlichste galvanische Element ist das Zink-Kohle-Salmiak-Element oder Leclanché-Element, das Sie näher kennenlernen sollen, denn nach seinem Prinzip arbeiten die heute entwikkelten und verbreiteten Trockenbatterien bzw. Monozellen. Da es keine

Tafel 3

Abb. 3: Batterien nicht zum Wegwerfen, sondern zum Wiederaufladen

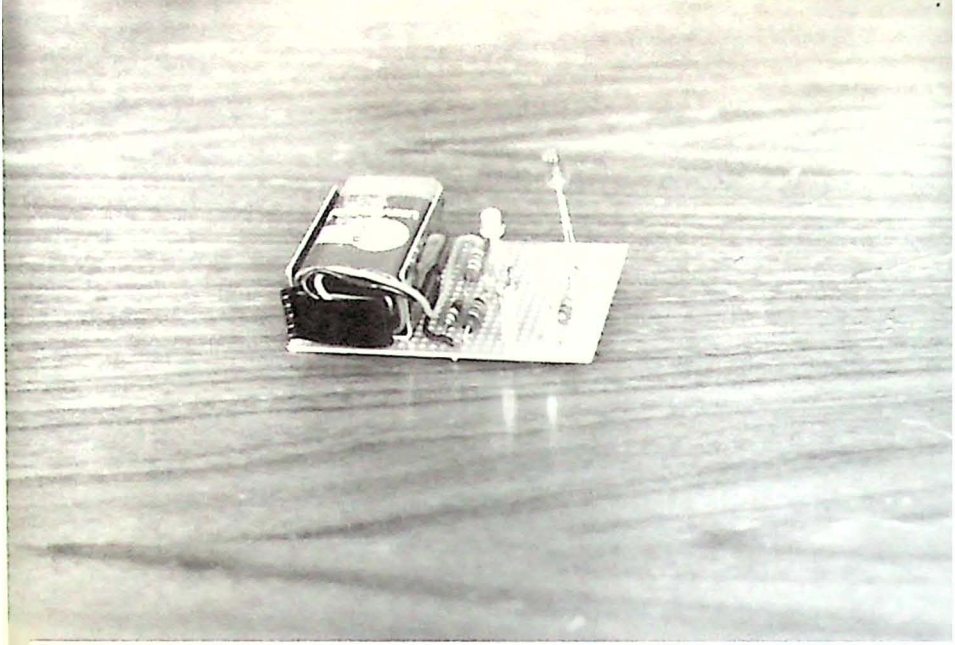
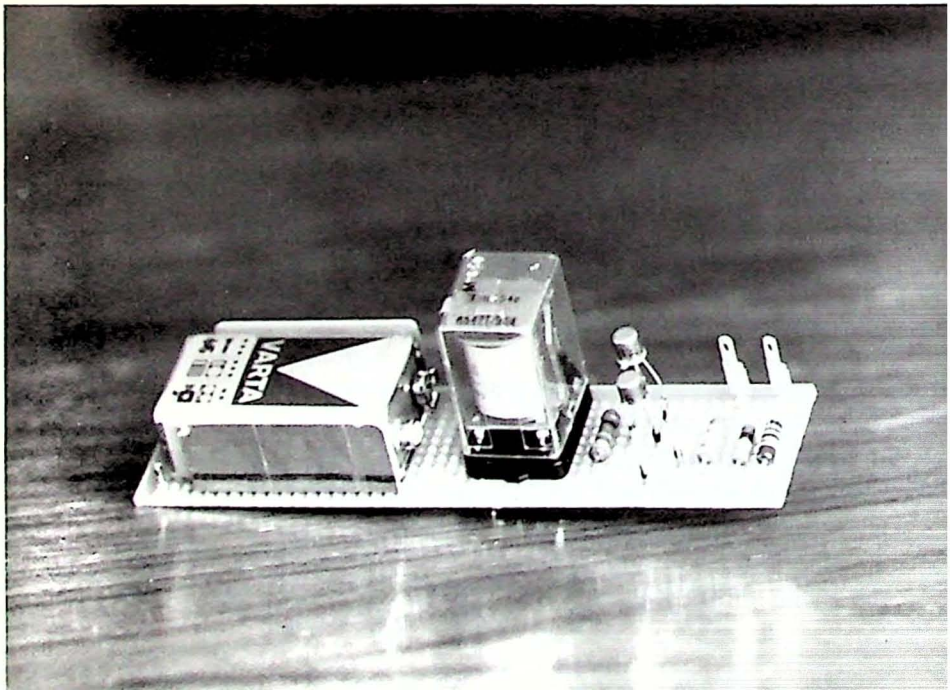


Abb. 4: Leitungsprüfer mit LED-Anzeige

Tafel 4

Abb. 5: Leitungsprüfer mit Relaissteuerung



ätzenden Säuren enthält, ist es besonders als Trockenzelle sehr bequem. Das Element hat drei wichtige Bestandteile: Metall, Kohle und Flüssigkeit. Metall und Kohle nennt man Elektroden, die Flüssigkeit Elektrolyt. In Abb. 12 sehen Sie den Glasbehälter G, in dessen Innerem sich zwei Elektroden befinden. Die Elektrode K besteht aus gepreßter Kohle. Sie ist von einem mit Braunsteinpulver und Graphit gefüllten Beutel umgeben. Die Elektrode Z besteht aus Zinkblech in Form eines kurzen Rohrstückes und umschließt den Kohlestab, ohne ihn jedoch zu berühren. Als Elektrolyt E befindet sich in dem Glasbehälter reines Wasser, in dem etwas Salmiaksalz aufgelöst ist. An den beiden Elektroden sind zwei Klemmen K 1 und K 2 angebracht, von denen sich die elektrische Spannung abnehmen läßt.
Bei dem in Abb. 12 dargestellten Element handelt es sich um eine der ältesten Bauarten, die lange Jahre gute Dienste leisteten.

6.2 Trockenbatterien

Jeder kennt eine Taschenlampe mit dazugehöriger Batterie. Ein guter Techniker interessiert sich für alles. Deshalb soll eine verbrauchte Taschenlampenbatterie einmal zerlegt werden. Dabei fällt auf, daß der Aufbau nur ganz wenig von dem des früher verwendeten Beutelelementes abweicht. Auch hier handelt es sich um eine Zink- und eine Kohleelektrode mit Beutel, jedoch in viel kleineren Abmessungen. Die wässerige Salmiaklösung fehlt gänzlich.
Wie arbeitet nun ein solches Trockenelement? Wie schon der Name sagt, wird bei der Herstellung kein flüssiger Elektrolyt verwendet. Man mischt deshalb der Salmiaklösung wasseranziehende Salze bei und vermengt dieses Gemisch mit feinem Weizenmehl und Sägemehl zu einer teigigen Paste nach Abb. 13. Auf diese Weise erhält man einen Elektrolyt, der dem flüssigen in keiner Weise nachsteht. Die Zinkelektrode ist als Füllbecher ausgebildet.
Da nun ein solch kleines Element ebenfalls eine Spannung von 1,5 Volt liefert, werden immer 3 Elemente nach Abb. 14 in Reihe geschaltet. Dabei addieren sich die Spannungen, so daß sich 4,5 Volt ergeben.
Das nachstehend beschriebene Batteriekästchen hat viele nützliche Anwendungsmöglichkeiten; es erlaubt die Zusammenschaltung mehre-

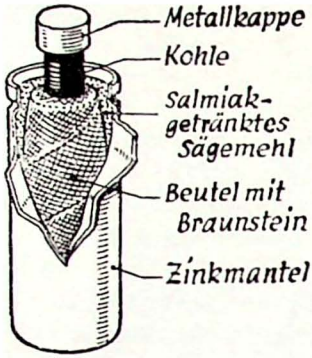


Abb. 13 Aufbau einer Taschenlampenbatterie-Zelle

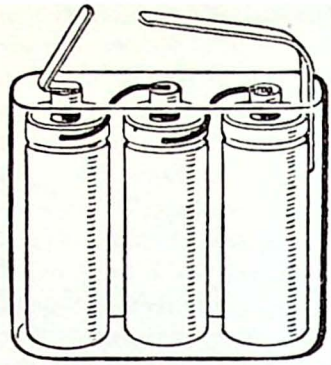


Abb. 14 Taschenlampenbatterie

Benötigt werden folgende Einzelteile für das Batteriekästchen:

4 Monozellen	1,5 V
1 Bodenplatte	155 × 75 × 4 mm
2 Seitenleisten	155 × 20 × 4 mm
5 Seitenleisten	65 × 20 × 4 mm
8 Zylinderkopfschrauben	M 3 × 10 mm

rer Einzelzellen (Monozellen) zu einer Batterie von etwa 6 V Spannung, die sich z. B. zum Betrieb zahlreicher Geräte eignet, die mit Transistoren arbeiten und die später noch beschrieben werden.

Ferner braucht man etwas Schaltdraht und einen Streifen Messing- oder Bronzeblech 0,3 . . . 0,5 mm.

Die Seitenleisten werden mit der Bodenplatte so verleimt, daß ein rechteckiges Kästchen entsteht. Der Innenraum erhält drei Zwischenwände, so daß sich vier gleich große Kammern ergeben. Diese dienen zur Aufnahme von vier Monozellen. In Reihe geschaltet erhält man dann 6 V.

Jede Kammer erhält zwei 3-mm-Bohrungen, der Bohrungsmittelpunkt liegt jeweils in der Mitte der Kammer und hat etwa 5 mm Abstand vom oberen Rand. Für jede Kammer benötigt man ein Kontaktblech. Hierzu eignet sich z. B. das Kontaktblech alter Trockenbatterien. Die Blechstreifen werden mit einem 3-mm-Bohrer durchbohrt und so zurechtge-

bogen, daß ein Teil federnd in je eine Kammer hineinragt. Auf der gegenüberliegenden Seite sind nur Zylinderkopfschrauben zur Kontaktgabe erforderlich. Die einzelnen Kammern müssen nun noch mit einem Stückchen Schaltdraht so verbunden werden, daß sich eine Reihenschaltung ergibt. Nun können die Batterien eingelegt werden; an den Anschlußklemmen liegt dann eine Spannung von 6 V.

Eine Weiterentwicklung der Kohle-Zink-Batterie stellt die Alkali-Mangan-Zink-Batterie dar. Wie Abb. 15 zeigt, unterscheidet sich der Aufbau einer Alkali-Mangan-Rundzelle wesentlich von der herkömmlichen Leclanché-Zelle. Als Anode wird Zink verwendet. Da Zink nach Durchgang einer bestimmten Strommenge stark passiviert, muß die Zinkoberfläche größer gestaltet werden. Die Zinkanode enthält deshalb granuliertes Zink, sowie verdickte Kalilauge und füllt damit das Innere aus. Die Minusableitung erfolgt über einen Hohldorn aus Messing. Als Kathode wirkt ein gepreßter Zylinder, dessen chemisch aktiver Bestandteil Mangandioxid ist. Das chemische System ist in einem Stahlbecher montiert, den eine Polyamiddichtung verschließt. Die Bodenscheibe (Minuskontakt) und die Abschlußkappe (Pluskontakt) sind mit dem zylindrischen Stahlmantel verbördelt. Zur Verfügung stehen Rundzellen, Knopfzellen und mehrzellige Batterien in international genormten Abmessungen.

Der besondere Vorteil einer Alkali-Mangan-Zelle besteht in der hohen Belastungsfähigkeit und Kapazität sowie der Betriebssicherheit im Kältebereich. Während eine Kohle-Zink-Zelle bei einer Temperatur unter 0° C ihre Leistungsfähigkeit rasch verliert, arbeitet eine Alkali-Mangan-Zelle bei Temperaturen von −20° C noch völlig einwandfrei. Der Mehrpreis dieser Zelle gegenüber einer Zelle im Leclanché-Aufbau ist durchaus vertretbar und wird von den Batteriebenützern gern akzeptiert.

Besonders interessant sind Quecksilberoxid-Zellen. Ihre Nennspannung beträgt 1,35 V, die während der Entladezeit lange konstant bleibt. Die geringen Abmessungen dieser Zellen (der Durchmesser bewegt sich zwischen 7,9 mm, 11,6 mm und 15,5 mm) gestatten den Einbau in Miniaturgeräte.

Abb. 16 (Schnittbilddarstellung) läßt die Anordnung von Quecksilberoxid-Kathode, Separator und Zinkpulveranode erkennen. Die Quecksilberoxid-Kathode besteht zu mehr als 90 % aus rotem Quecksilber-

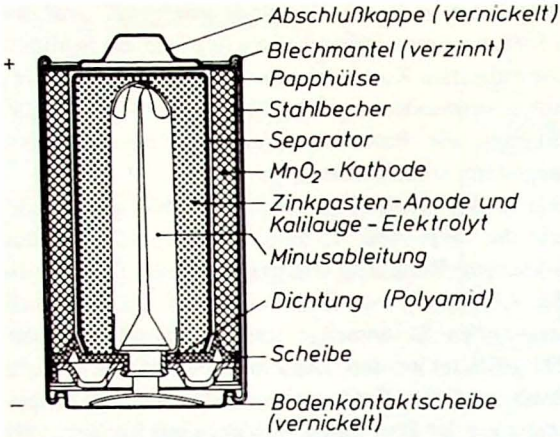
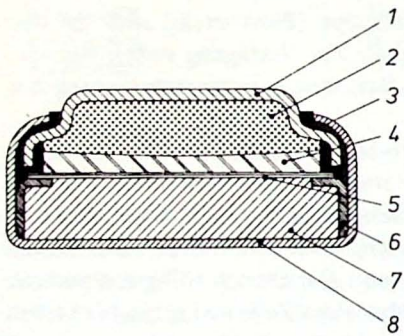


Abb. 15 Aufbau einer Alkali-Mangan-Zink-Zelle (Varta)



1 Negativer Pol der Zelle aus einem mehrschichtigen, korrosionsbeständigen metallischen Werkstoff
2 Zinkpulveranode
3 Kunststoffisolier- und Dichtungsring
4 Elektrolyt aus wäßriger konzentrierter Kaliumhydroxidlösung, aufgesaugt in einem Baumwollvlies
5 Separatorkombination zur Vermeidung des Durchtritts von Quecksilber zwischen Kathoden- und Anodenraum
6 Metallischer Stützring für das Dichtungssystem
7 Quecksilberoxidkathode
8 Äußeres Zellgehäuse, nickelplatiniert, gleichzeitig positiver Pol der Zelle

Abb. 16 Schnittbild einer Quecksilberoxid-Knopfzelle (Varta)

oxid. Mit Zusätzen von Graphit und organischen Bindemitteln wird die Leitfähigkeit sichergestellt. Während der Entladung wird das rote Quecksilber zu metallischem Quecksilber reduziert. Zwischen Kathode und Anode ist ein Baumwoll-Vlies angeordnet, das die notwendige Elektrolytmenge aufnimmt. Das chemische System befindet sich in einem Gehäuse, das gleichzeitig positiver Pol der Zelle ist. Der Verschluß der Zelle erfolgt durch eine Deckelscheibe mit Stützring und Kunststoff-Dichtungsring.

6.3 Akkumulatoren oder Sammler

Sämtliche Elementformen, die bisher besprochen wurden, gehören zu der Gruppe der *Primärelemente,* die durch eigene chemische Tätigkeit elektrischen Strom hervorbringen, ihn also unmittelbar oder primär erzeugen. Den Gegensatz dazu bilden die *Sekundärelemente*, gewöhnlich Akkumulatoren oder Sammler genannt, die erst durch die Zufuhr von elektrischem Strom zu chemischer Tätigkeit angeregt werden, um dann selbst wieder Strom zu liefern. Sie bekommen den Strom also erst aus zweiter Hand (sekundär).
Warum benützt man überhaupt sekundäre Elemente, wenn es primäre gibt? Ist es nicht unsinnig, den Strom erst in ein sekundäres Element zu leiten, ihn dort mit Verlusten verbundene Umsetzungen vornehmen zu lassen und diese Umsetzungen dann in umgekehrter Reihenfolge auf den Anfangszustand zurückzuführen, um dadurch wieder Strom herauszuholen? Doch einige Überlegung zeigt hier eine neue Möglichkeit, zu der die primären Elemente niemals verhelfen können. Auch jetzt soll wieder der elektrische Strom mit fließendem Wasser verglichen werden. Man denke sich ein schmales, kleines Wässerchen, das hoch über einen Felsen herabfließt. Es wird nicht viel Arbeit leisten können, wenn man es nicht aufstaut oder sammelt, um dann den Inhalt des Sammelbeckens auf einmal nutzbar zu machen. Ähnlich verhält es sich mit den primären Elementen. Der Strom, den sie liefern, entspricht einem kleinen Bach, denn er kann nur wenig Arbeit leisten, aber er arbeitet lange Zeit hindurch unermüdlich. Dazu braucht man die Leistung der Elemente meistens nur kurze Zeit. Die Nacht hindurch sind diese Elemente gewöhnlich unbeschäftigt. Liegt es da nicht nahe, das Beispiel der Wasserkraft

auf den elektrischen Strom zu übertragen, ihn aufzustauen und zu sammeln, um ihn dann später größere Leistungen ausführen zu lassen? Denken Sie einmal an den Anlasser eines Kraftwagens, der in Form eines kleinen, aber starken Elektromotors den Benzinmotor etwa 5–10 Sekunden lang »durchdreht«, um ihn zum »Anspringen« zu bringen. Dieser Anlasser braucht zum Betrieb bis zu 300 Ampere Strom bei 12 Volt Spannung. Diese recht beträchtliche Leistung kann nun ein Akkumulator, die wohlbekannte »Autobatterie«, ohne weiteres abgeben. Dafür wird sie bei laufendem Fahrzeugmotor während vieler Stunden mit verhältnismäßig schwachem Strom, etwa 5 Ampere, durch die eingebaute, vom Benzinmotor angetriebene »Lichtmaschine« aufgeladen. Sie speichert also *langsam* kleinere Mengen elektrischer Energie, um sie im Bedarfsfall gesammelt und gewissermaßen stoßartig, jedoch nur für *sehr kurze Zeit*, zur Verfügung zu stellen. Dieses Beispiel zeigt die große praktische Bedeutung von Akkumulatoren besonders anschaulich.

Die Tatsachen, durch die man auf die Akkumulatoren kam, seien nur kurz angedeutet. Schickt man von einer »Ladestromquelle« einen elektrischen Strom durch eine Zersetzungszelle, in der sich zwei Metallelektroden in angesäuertem Wasser gegenüberstehen, so scheidet sich an der Kathode Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff ab*. Wenn man dann den Stromkreis abschaltet und eine äußere Verbindung herstellt, so entsteht wieder ein Strom, der aber in der ursprünglich entgegengesetzten Richtung fließt. Dieser sekundäre Strom zersetzt die Schwefelsäure im Element und läßt daraus Sauerstoff und Wasserstoff entstehen. Der Sauerstoff scheidet sich an der mit Wasserstoff beladenen Elektrode ab, der Wasserstoff an der mit Sauerstoff bedeckten. An beiden bildet sich dadurch Wasser. Die Gasüberzüge verschwinden allmählich, und

* Die Leiter des elektrischen Stromes teilt man in Leiter erster und zweiter Klasse. Leiter erster Klasse sind vor allem die Metalle und die Kohle; Leiter zweiter Klasse sind die zusammengesetzten Flüssigkeiten, z. B. die Lösungen von Säuren und Salzen im Wasser, die man als Elektrolyte bezeichnet. Den Vorgang der Zerlegung selbst nennt man Elektrolyse. Die meist plattenförmigen Elektroden werden bei der Elektrolyse in den Elektrolyten getaucht. Der elektrische Strom besorgt die Zerlegung. An der einen Elektrode liegt der Minuspol der Batterie, an der anderen der Pluspol. Die mit dem Minuspol verbundene Elektrode bezeichnet man als Kathode (von kata = weg), die andere als Anode, (von ana = hin) und deutet damit zugleich den Weg an, den der Strom während der Elektrolyse nimmt.

schließlich stehen sich wieder die reinen Elektroden gegenüber. In diesem Augenblick hört dann die Stromlieferung auf: das sekundäre Element ist entladen. Die Entladungsdauer hängt von der Ladungsdauer ab. Je länger die Ladung währt, desto mehr Wasserstoff und Sauerstoff entsteht, und desto länger dauert danach die Rückverwandlung, vorausgesetzt, daß die beiden Gase auch wirklich an den Elektroden haften und nicht etwa in die Luft übergehen.

Diese Tatsachen gelten nun nicht nur für Elektroden in Schwefelsäure, sondern für jeden Fall, in dem eine Flüssigkeit zwischen zwei Elektroden zerlegt wird. Immer entsteht ein sekundäres Element, das Strom liefern kann; es kommt nur darauf an, die günstigste Zusammenstellung ausfindig zu machen. Heute verwendet man gitterförmige Bleiplatten, in die verschiedene Bleiverbindungen eingepreßt sind, in verdünnter (10%iger) Schwefelsäure. Schickt man durch diese Anordnung einen kräftigen Ladestrom, so verfärbt sich infolge einer ziemlich verwickelten chemischen Umsetzung die an den + Pol der Ladebatterie angeschlossene Platte, die Anode, erst lichtbraun, dann dunkelbraun und endlich schwarz, während die andere Platte, die Kathode, ihre stahlgraue Tönung beibehält. Sobald die Anode schwarz ist, ist die Ladung beendet. Sie haben dann als Ergebnis des Prozesses ein richtiges Element vor sich. Nimmt man die Ladebatterie weg und verbindet die beiden Elektroden durch einen Leitungsdraht, in den man irgendeinen Stromverbraucher eingeschaltet hat, so vollzieht sich wieder ein chemischer Prozeß, diesmal in umgekehrter Richtung. An dessen Ende stehen sich zwei »entladene« Elektroden gegenüber, und damit hört die Stromlieferung auf. Ladung und Entladung lassen sich dauernd wiederholen.

Jeder Akkumulator hat eine bestimmte »Kapazität«, auch Fassungsvermögen genannt, die von der Plattengröße abhängt. Dieses Fassungsvermögen errechnet sich aus dem Produkt des Stromes, den man dem Sammler entnimmt, und der Stromflußzeit. Ampere mal Stunden gibt Amperestunden, abgekürzt Ah. Hat z. B. ein Sammler eine Kapazität von 50 Ah und einen höchstzulässigen Strom von 10 A (diese Werte werden von den Herstellerfirmen meistens angegeben und sind auf dem Akku irgendwie vermerkt), so kann man ihm 5 Stunden lang 10 A entnehmen, denn $5 \cdot 10 = 50$. Aber er würde auch 50 Stunden lang 1 A liefern, oder 100 Stunden lang 0,5 A, denn auch dann ist das Produkt stets 50. Man darf aber niemals, weder bei der Entladung noch bei der

Ladung, den Höchststrom überschreiten, in diesem Beispiel also keineswegs sagen, man kann auch 1 Stunde lang 50 A aus dem Sammler herausholen. Er würde dann bald defekt werden. Beim Aufladen ist es ähnlich: Beispielsweise müßte hier der Ladestrom von 1 A 50 Stunden lang (oder 10 A 5 Stunden lang) fließen. In Wirklichkeit braucht man bis zur vollen Ladung etwas länger, weil der Sammler einen Wirkungsgrad hat, der kleiner als 1 ist. Etwas Energie wird beim Laden also stets nutzlos verbraucht. Zu starkes Laden oder Entladen (also ein Überschreiten des zulässigen Stromes sowie eine zu lange Ladung oder Entladung) hat eine zu starke Gasentwicklung und eine zu große mechanische Beanspruchung der Platten zur Folge, die dann schnell verbiegen und zerbröckeln.

Die nutzbare Spannung des Akkumulators schwankt je nach dem Ladungszustand zwischen 2 und 1,8 Volt für jedes Element. Bei weniger als 1,8 Volt muß neu aufgeladen werden.

Das Laden mit Akkumulatoren geht wie folgt vor sich:

Zwischen die Ladestromquelle (z. B. Gleichrichter) und den Sammler muß man einen Widerstand schalten, die Spannung der Ladestromquelle muß höher als die des Sammlers in vollgeladenem Zustand sein, und der Ladestrom darf den Höchstwert nicht überschreiten. Ein Beispiel: Ein Akkumulator mit 4 V (2 Zellen) hat eine Kapazität von 20 Ah und soll geladen werden. Der höchstzulässige Strom sei 1 A. Die Spannung der Ladestromquelle muß über 5,4 V liegen, denn jede Zelle hat bei Volladung eine Spannung von etwa 2,7 V. Es werden zur Ladung 8 V gewählt. Nun kann man den vorzuschaltenden Ladewiderstand aus der Spannungsdifferenz zwischen der Ladespannung von 8 V und der Nennspannung des Akkumulators (C 8−4 = 4 V) berechnen. Der Widerstand, an dem diese Differenzspannung liegt, muß nach dem Ohmschen Gesetz einen Wert von 4:1 = 4 Ohm haben. Hätte man eine Ladespannung von 10 V zur Verfügung, so müßte der Widerstand (10−4)/1 = 6 Ohm betragen. Auf diese Weise kann man zu jeder denkbaren Ladespannung, die aber nie kleiner als 5,4 V werden darf, den Vorwiderstand berechnen.

Während der Ladung steigt nun die Spannung des Akkumulators allmählich von 4 V auf etwa 5,4 V an. Die Spannungsdifferenz beträgt am Vorwiderstand dann gegen Ende der Ladung nur noch 8−5,4 = 2,6 V, d. h. der Ladestrom würde sich auf 2,6/4 = 0,65 A verringern. Man kann

das machen und mit kleinerem Strom weiterladen. Will man aber den vollen Strom bis zum Ende der Ladung, so braucht man einen Regelwiderstand, der sich von 4 Ohm bis mindestens 2,6 Ohm verringern läßt und den man während der Ladung ständig nachstellen muß, wenn der Strom gleichbleiben soll. Es gibt übrigens auch Ladegeräte, die den Strom automatisch nachregeln. Ist bei Akkumulatoren ein höchstzulässiger Strom nicht angegeben, heißt es aber z. B. »20 Ah bei zehnstündiger Entladezeit«, so kann der Höchststrom aus 20/10 = 2 A berechnet werden.

Entsprechend dem vorstehenden Beispiel kann man nun jeden Ladewiderstand bei gegebener Ladespannung für Sammler ausrechnen, deren Spannung, Kapazität und Höchststrom bekannt sind.

Die Spannung ermittelt man mit einem Spannungsmesser, den man zwischen die Pole des Sammlers schaltet und der die erreichte Spannung sofort anzeigt. Es gibt aber auch noch ein einfacheres und recht zuverlässiges Mittel. Gleich nach dem Einschalten des Ladestroms treten an den Platten des Sammlers winzige Gasbläschen auf, die sich langsam loslösen, um durch die Säure aufzusteigen*. Je länger die Ladung dauert, desto stärker wird diese Gasabsonderung. Man hört dann ein leichtes Brodeln in den Sammlern und sagt deshalb: Der Akkumulator »kocht«. Diese Erscheinung ist ein sicheres Zeichen dafür, daß die Ladung beendet ist, denn sie rührt davon her, daß die aktive Masse der Platten kein Gas mehr aufzunehmen vermag. Bei Akkumulatoren, die durch Deckel oder Vergußmasse verschlossen sind, müssen während des Ladens die Ventilstöpsel entfernt werden, damit die entweichenden Gase frei austreten können.

Überschreitet man die Lade- und Entladestromstärke nicht, so können Akkumulatoren etwa 3–5 Jahre ununterbrochen Dienst tun. Soll eine Batterie längere Zeit unbenutzt stehenbleiben, muß man die Zellen, obwohl sie nicht gebraucht werden, von Zeit zu Zeit – etwa einmal im Monat – aufladen, weil sie bei längerem Stehen einen Teil ihrer Ladung verlieren. Ein Stehenlassen in ungeladenem Zustande schadet den

* An dieser Gasabsonderung läßt sich auch feststellen, ob die Ladestromstärke zu hoch oder zu gering ist. Sie ist zu hoch, wenn gleich nach der Einschaltung des Ladestroms zahlreiche große Gasblasen auftreten. In diesem Falle muß der Ladestrom verkleinert werden. Bleiben die Gasbläschen dagegen ganz aus, so ist die Ladestromstärke zu gering.

Akkumulatoren außerordentlich, weil sich dabei an den Platten schwefelsaures Blei (Bleisulfat) bildet, das schließlich die ganze Oberfläche überzieht. Eine solche »Sulfatierung« tritt auch bei zu hoher Entladestromstärke, tieferem Entladen als bis auf 1,85 Volt und Kurzschluß ein. Die Sulfatierung der Platten setzt die Kapazität des Akkumulators sehr stark herab; die Sulfatschicht kann nur, solange sie noch sehr dünn ist, durch andauerndes Laden, das aber die Lebensdauer der Platten ungünstig beeinflußt, wieder beseitigt werden.
Der Vollständigkeit halber sei abschließend noch der sog. Nickel-Eisen-Akkumulator erwähnt. Eine Nickelplatte bildet den positiven Pol, während eine Eisenplatte den negativen Pol darstellt. Als Elektrolyt dient Kali- oder Natronlauge. Derartige Zellen – nach ihrem Erfinder auch »Edison-Akkumulatoren« genannt – sind gegen Überlastung und Stehenlassen in ungeladenem Zustand sehr unempfindlich; sie haben jedoch bei gleichem Gewicht eine kleinere Kapazität als Bleizellen und liefern auch etwas kleinere Spannungen.

6.4 Nickel-Cadmium-Akkumulatoren

Den großen Durchbruch der Nickel-Cadmium-Akkumulatoren erzielten die Batteriehersteller mit der Entwicklung der gesinterten Elektroden. Die problemlose Austauschmöglichkeit gegen normale Trockenbatterien und die günstige Preisentwicklung führten dazu, daß viele Batteriegeräte mit Ni-Cd-Akkumulatoren bestückt werden. Eine verbrauchte Trockenbatterie wirft man weg, d. h. man gibt sie, entsprechend den neuen Umweltschutzbestimmungen, dem Fachhändler zurück; einen Ni-Cd-Akku lädt man wieder auf und verwendet ihn weiter. Bei fachgemäßem Umgang mit diesen Akkumulatoren und bei vorschriftsmäßiger Aufladung kann die Lebensdauer bis zu 10 000 Ladezyklen betragen. In dieser Zeit hat sich der Anschaffungswert längst amortisiert. Allerdings besteht auch die Ansicht, daß die etwas niedrigere Zellenspannung von 1,25 V im allgemeinen nicht ausreiche. Dazu ist folgendes zu sagen: Fabrikfrische Kohle-Zink-Batterien mit einer Leerlaufspannung von 1,5 V verlieren bei Belastung rasch an Spannung. Die kontinuierlich sinkende Spannung erreicht sehr schnell einen Wert, der unter 1,25 V liegen kann. Die Zellenspannung eines Ni-Cd-Akkus bleibt dagegen so

lange konstant, bis die Kapazitätsgrenze erreicht ist. Erst zu diesem Zeitpunkt fällt die Spannung rasch auf 1 V ab. Damit nähert man sich jenem Punkt, bei dem die Entladung abgebrochen werden soll. Eine weitere Entladung bringt keinen Gewinn mehr. Der Akkumulator muß aufgeladen werden. Übersieht man diesen Zeitpunkt, so kommt es zu einer Tiefentladung, die schließlich zur Umpolung der Zelle führt.
Sind mehrere Zellen in Reihe geschaltet, was bei Batteriegeräten ja meistens der Fall ist, dann kann eine verbrauchte Zelle Ursache von unliebsamen Störungen sein. Sie muß dann durch sorgfältige Aufladung wieder auf ihre volle Leistungsfähigkeit gebracht werden. Die Leistung, die man einer Ni-Cd-Zelle entnehmen kann, ist abhängig von der Strombelastung und der Umgebungstemperatur. Für einen optimalen Kapazitätsgewinn gilt der Temperaturbereich zwischen + 10 und + 30° C. Nikkel-Cadmium-Zellen werden in verschiedenen Bauformen hergestellt. Ihr Kapazitätsbereich liegt zwischen 0,1 bis 10 Ah. Der genaue Wert steht meistens auf der Schutzhülle, so daß die Auswahl der richtigen Batterie keine Schwierigkeiten bereitet. Abb. 3, Tafel 3 zeigt die Ansicht handelsüblicher Bauformen.

6.5 Unser Lichtnetz als Stromquelle

Unser Lichtnetz ist ebenfalls eine Stromquelle. Die großen Maschinen, die den Strom erzeugen, stehen in den Elektrizitätswerken, und die Anschlüsse unserer Lichtsteckdosen sind mit diesen Maschinen verbunden.
Die hohe Spannung der Lichtnetze (110 oder 220 Volt) kann für die geplanten Versuche nicht ohne weiteres verwendet werden. *Einerseits sind mit hohen Spannungen Gefahren verbunden, denen man sich nicht unnötig aussetzen sollte*, andererseits verlangen die meisten der Versuchsgeräte nur einige Volt. Deshalb muß man sich nach Mitteln umsehen, um die hohe Spannung des Lichtnetzes, die sogenannte Netzspannung, auf entsprechende Werte herabzusetzen.
Sie werden grundsätzlich mit Wechselstromnetzen arbeiten. Diese führen Ströme, deren Stärke und Richtung in der Sekunde 50 mal hin- und herschwankt. Die Wechselspannungen und Wechselströme kann man mit sog. Transformatoren beliebig herauf- und heruntersetzen.

Die mit dem elektrischen Starkstrom verbundenen Gefahren (also ungefähr Spannungen von über 24 Volt, lebensgefährlich aber erst ab 60 Volt) sind so groß, daß genaue Verhaltensmaßregeln gegeben werden müssen, *die unbedingt zu beachten sind!* Die Spannung unserer Lichtnetze hat schon viele Todesopfer gefordert, und es vergeht kein Tag, an dem nicht irgendein Mensch durch die Netzspannung schweren körperlichen Schaden erleidet. Es war daher zu überlegen, ob nicht grundsätzlich vom Experimentieren mit Netzspannung abgeraten und nur Schwachstromversuche empfohlen werden sollen. Aber der Anreiz für Starkstromversuche ist zu groß und bei sorgfältiger Befolgung aller Sicherheitsmaßregeln kann praktisch jede Gefahr gebannt werden. Deshalb wird die Verwendung des Starkstromes befürwortet, unter der Voraussetzung, daß dabei *vorsichtig* und *verantwortungsvoll* vorgegangen wird. Die nachfolgend aufgeführten Regeln sollten Sie sich genauestens einprägen und stets danach handeln.

Spannung nur von einem Niedervoltgerät entnehmen!
Für den Bau eines Niedervolt-Speisegerätes findet sich auf den Seiten 84–98 eine ausführliche Anleitung. Bei der Herstellung dieses Gerätes müssen die dort angegebenen Vorschriften genauestens beachtet werden.

Stromführende Teile nie berühren!
Befindet sich irgendein an das Starkstromnetz angeschlossenes Versuchsgerät in Betrieb, dann heißt es: Hände weg! Sind Eingriffe oder Änderungen an dem Gerät geplant, muß das Netz unbedingt vorher doppelpolig abgeschaltet werden. Erst dann ist die Berührung blanker Anschlußstellen gefahrlos.

Bei Arbeit mit Netzspannung trockenes Schuhwerk, trockener Boden!
Befindet sich der Arbeitsraum im Keller, so muß sich vor dem Arbeitsplatz mindestens eine genügend große Holzplatte aus völlig trockenem, am besten imprägniertem Holz befinden, auf der man während der Versuche stehen kann. Noch besser ist eine Gummimatte oder eine Platte aus gut isolierendem Kunststoff.

Schalthebel nur mit einer Hand bedienen!
Das Betätigen von Schaltern mit isoliertem Griff ist auch dann, wenn dieser Schalter unter Spannung steht, gefahrlos. Bei Versuchsaufbauten ist es jedoch möglich, daß eine Hand unbeabsichtigt stromführende Teile berührt.
Also Schalthebel immer mit *einer* Hand bedienen – die zweite Hand in die Hosentasche!

Abstand von allen geerdeten Teilen!
Der Arbeitstisch muß so stehen, daß von dort aus keine geerdeten Teile absichtlich oder unabsichtlich mit der Hand berührt werden können. Das bedeutet, daß man einen genügend großen Abstand von allen Wasserleitungen, Gasleitungen, Zentralheizungen usw. einhalten muß. Schon oft ist es vorgekommen, daß sich jemand auf eine solche Leitung stützte und dabei einen Anschluß berührte, der Netzspannung gegen Erde aufwies. In solchen Fällen gerät man unmittelbar in den Starkstromkreis. Bei festem Zufassen krampft sich noch dazu die Hand um den stromführenden Leiter, so daß man sich aus dem Stromkreis überhaupt nicht mehr lösen kann. Die Folge davon sind Verbrennungen, Schädigung des Herzens, der Atemorgane usw., die zum Tod führen können.

Auf Starkstromisolation achten!
Sämtliche Leitungen, die Netzspannung führen, müssen mit vorschriftsmäßiger Isolation versehen sein. In jedem Elektrogeschäft gibt es einwandfrei isolierte Drahtsorten zu kaufen.

Geräte unter Netzspannung abdecken und erden!
Wo irgend angängig, sollen Geräte, die mit der Netzspannung in Verbindung stehen, mit einer schützenden Haube umgeben sein, die jede absichtliche oder unabsichtliche Berührung des Apparates selbst verhindert. An metallische Schutzhauben muß eine einwandfreie Erdleitung angeschlossen werden.

Niemals Sicherungen flicken!
Für die in den Starkstromleitungen liegenden Sicherungen können nur käufliche Patronensicherungen mit den zugehörigen vorschriftsmäßigen

Fassungen verwendet werden. Brennt eine Sicherung durch, so ist sie durch eine neue Patrone zu ersetzen. Die defekte Patrone darf nie, wie man das leider sehr häufig findet, mit einem Draht überbrückt werden. Geflickte Sicherungen zu verwenden ist in höchstem Maße fahrlässig und verantwortungslos.

Nur Starkstromstecker verwenden!
Bananenstecker soll man nie für Anschlüsse an das Lichtnetz benützen. Sie eignen sich nur für Schwachstrom.
Jedem Leser sei die Befolgung der vorstehenden »Vorschriften im Umgang mit Starkstrom« eindringlich ans Herz gelegt. Es ist eine alte Erfahrung, daß man im Eifer der Arbeit oder auch im Laufe der Zeit leichtsinnig wird.

7. Wann Hochspannung und wann Starkstrom?

Im allgemeinen haben elektrische Verbraucher, die zum Betrieb ziemlich hohe Spannungen benötigen, verhältnismäßig kleine Betriebsströme, während Verbraucher mit niederen Spannungen meist große Ströme aufweisen. Da nun aber die Leistung, wie bereits bekannt, stets das Produkt aus Strom und Spannung darstellt, pendelt die elektrische Leistung selbst immer um einen bestimmten Wert herum, der nur davon abhängt, eine wie große andersgeartete Energie von dem Verbraucher abgegeben wird. Beispielsweise kann ein Motor für eine Leistung von 1 PS sowohl mit großen Spannungen und kleinen Strömen als auch mit großen Strömen und kleinen Spannungen arbeiten. Die absolute Größe des Stromes oder der Spannung ist daher keineswegs ein Maß für die elektrische Leistung des Gerätes, die nur aus dem Produkt beider Werte gebildet wird.

Weshalb baut man nun einmal Geräte für hohe und ein andermal wieder solche für kleine Spannungen, wenn das vom Leistungsstandpunkt aus gleichgültig ist? Dafür gibt es die verschiedensten Gründe, von denen die wichtigsten jetzt besprochen werden sollen.

Die tägliche Erfahrung zeigt, daß es nicht sehr vorteilhaft sein kann, wenn unsere Haushaltgeräte für sehr hohe Spannungen, beispielsweise mehrere tausend Volt, gebaut wären. Denn Spannungen in dieser Größenordnung sind lebensgefährlich. Schon allein aus diesem Grunde baut man die Haushaltgeräte für wesentlich kleinere Spannungen, z. B. für 110 oder 220 Volt. Aber selbst diese Spannungen sind keineswegs ungefährlich für den menschlichen Körper.

Die Gefährlichkeit allein ist jedoch nicht der einzige Grund für die Wahl verhältnismäßig niederer Spannungen beim Betrieb elektrischer Haushaltgeräte. Es spielen auch wirtschaftliche Überlegungen mit. Zur Isolation von Spannungen benötigt man hochwertige Isolierstoffe, und der Aufwand für diese Rohstoffe wird um so größer, je höher die Betriebsspannung ist. Der Isolationsaufwand für einige hundert Volt ist um ein Wesentliches kleiner als für Spannungen von mehreren tausend Volt.

Nun könnte man fragen: Warum wählt man nicht noch kleinere Spannungen, um die Berührungsgefahr weiter zu verkleinern und die Isolationskosten noch weiter herabzusetzen? Der Grund dafür ist, daß zum Betrieb von Geräten gleicher Leistung der Strombedarf um so größer wird, je kleiner die Betriebsspannungen werden. Dadurch ergibt sich jedoch eine nicht so leicht zu unterschreitende Grenze sowohl in wirtschaftlicher als auch in technischer Hinsicht: Je größer der Strom, um so stärker muß auch der Querschnitt sämtlicher Leitungen sein. Ist der Querschnitt zu klein, so erhitzt sich der Draht durch die starken Ströme unzulässig stark; das hat neben Brandgefahren auch eine allmähliche Zerstörung der hochwertigen, aber wenig wärmebeständigen Isolation zur Folge. Außerdem wäre bei kleinen Querschnitten der Widerstand des Drahtes so hoch, daß die starken Ströme einen unzulässig hohen Spannungsabfall längs der Leitungen verursachen würden. Die Geräte könnten dann nicht mehr richtig arbeiten.

Große Querschnitte erfordern sehr viel Kupfer. Wollte man z. B. den Querschnitt auf den doppelten Betrag heraufsetzen, so brauchte man auch die doppelte Menge Kupfer. Man muß also den goldenen Mittelweg wählen, d. h., man darf einerseits die Spannung nicht zu hoch,

andererseits jedoch nicht zu niedrig machen. Es ist also kein Zufall, daß unsere Lichtnetze Spannungen von 110 oder 220 Volt führen.
Es gibt aber noch andere Gründe für die Wahl bestimmter Betriebsspannungen. Während sich bei fast allen elektrischen Haushaltgeräten bei entsprechender Konstruktion grundsätzlich die gewünschten elektrischen Wirkungen sowohl mit kleinen als auch mit großen Spannungen erzielen lassen, sind manche elektrischen Erscheinungen entweder nur mit sehr hohen Spannungen oder nur mit sehr hohen Strömen zu erreichen.
Sie kennen alle die Leitungen an den riesigen Gittermasten, die überall durchs Land laufen. Warnungstafeln weisen eindringlich auf die gefährlich hohen Spannungen hin, welche die Leitungen führen. Mächtige Isolatoren sorgen dafür, daß die hohen Spannungen nicht über den Mast zur Erde abfließen können. Wozu dient dieser große Aufwand?
Die Überlandleitungen haben die Aufgabe, elektrische Energie vom Ort der Herstellung zum Ort des Verbrauchs zu führen. Daß beide Stellen oft Hunderte von Kilometern auseinanderliegen, hat seine besonderen Gründe. Meist befindet sich dort, wo große Wasserkräfte vorhanden sind, keine Industrie, die den Strom in erster Linie benötigt. Das Stromerzeugungswerk muß also bei den Wasserkräften aufgebaut werden, während der Strom selbst nach den oft weit entfernten Orten mit viel Industrie geführt werden muß. Dazu braucht man sehr große Mengen Leitungsdraht; deshalb muß man den Querschnitt dieser Leitungen im Interesse der Materialersparnis möglichst klein halten. Man ist also bestrebt, die gewünschte Energiemenge in Form hoher Spannung, aber geringen Stromes zu transportieren. Anders als bei unseren Haushalt-Lichtnetzen spielt hier die Frage der Isolation keine so entscheidende Rolle. Erstens macht die hohe Aufhängung der Drähte eine Berührung durch Unbefugte praktisch unmöglich; zweitens brauchen die in freier Luft hängenden Drähte überhaupt keine Isolation, weil die Luft bereits ein guter Isolator ist. So ist also die Verwendung hoher Spannungen zur Energieübertragung auf weite Entfernungen der technisch zweckmäßigste und wirtschaftlichste Weg.
Am Ort des Verbrauchs steht man nun aber vor der Aufgabe, die ankommenden Spannungen wieder auf einen Wert von wenigen hundert Volt herabzusetzen. Dazu werden dort stets in der Nähe von Ortschaften große Transformatoren verwendet, die in den kleinen turmähnli-

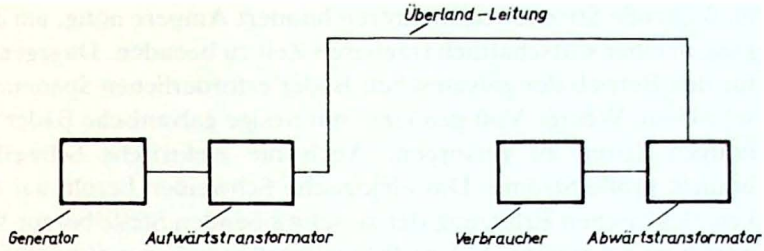


Abb. 17 Grundsätzliches Schema des Energietransports

chen, allen bekannten Häusern untergebracht sind. Von dort gehen dann die Speiseleitungen aus, die das Ortsnetz mit Strom versorgen. Abb. 17 zeigt das gesamte erklärte Schema.

Für die Übertragung elektrischer Energie auf weite Strecken kommt nur Wechselstrom in Frage, denn Gleichstrom läßt sich nicht transformieren. Im Kraftwerk wird die hohe Spannung nicht unmittelbar erzeugt, sondern die großen Generatoren liefern niedere Spannungen, die dann in Transformatoren hochgespannt werden müssen, bevor man sie auf den weiten Weg zum Verbraucher schickt.

Sie kennen bereits einige Gründe für die Verwendung hoher bzw. mittlerer Spannungen, bei denen in der Hauptsache wirtschaftliche Erwägungen maßgebend sind; es gibt aber auch Fälle, in denen ausschließlich technische Gründe die Verwendung bestimmter Spannungen vorschreiben.

Jeder kennt die schwach rötlich brennenden kleinen Glimmlampen, die als Signallampen verwendet werden. Bei diesen Glimmlampen liegt der Spannungswert bei etwa 70 Volt; bei Lichtreklameanlagen dagegen kann er mehrere Tausend Volt betragen. Sind die Spannungen kleiner, so bleiben alle diese schönen Lampen vollkommen dunkel. Auch hier schreibt die physikalische Eigenschaft der elektrischen Gasentladung eine bestimmte Mindestspannung vor. In den Leuchtröhren befinden sich nämlich elektrisch zum Glühen gebrachte Gasdämpfe, die das eigenartige Licht ausstrahlen. Um das Glühen einzuleiten, muß Strom durch das Gas fließen. Dieser Stromfluß wird erst bei einer bestimmten Mindestspannung, der sogenannten Zündspannung, eingeleitet.

Nun ein Beispiel für die Forderung nach möglichst großen Strömen. Wenn man große Flächen galvanisch behandeln will, so sind verhältnis-

mäßig große Ströme von mehreren hundert Ampere nötig, um den Vorgang in einer wirtschaftlich tragbaren Zeit zu beenden. Dagegen sind die für den Betrieb der galvanischen Bäder erforderlichen Spannungen nur sehr klein. Wenige Volt genügen, um riesige galvanische Bäder mit dem nötigen Strom zu versorgen. Auch die elektrische Schweißtechnik braucht große Ströme. Das elektrische Schweißen beruht auf der starken elektrischen Erhitzung der zu schweißenden Stelle bis zur Weißglut oder zum Schmelzen. Solche Schweißstellen haben meist recht erhebliche Querschnitte; so ist es verständlich, daß nur sehr große Ströme einwandfreie Verbindungen gewährleisten. Da die Widerstände an der Schweißstelle verschwindend klein sind, werden nur sehr geringe Spannungen benötigt.

Welche Spannung wird nun als »Hochspannung« und welche als »Niederspannung« bezeichnet? Die Festlegung der Grenzen ist rein willkürlich und beruht auf Übereinkommen, die sich im Lauf der Zeit eingebürgert haben. Heute unterteilt man die Spannungen in Nieder-, Mittel- und Hochspannungen. Von Niederspannungen spricht man gewöhnlich bei Werten zwischen Null und etwa 80 Volt, von Mittelspannungen bei solchen zwischen 80 und 500 Volt und von Hochspannungen bei allen Werten, die über 500 Volt liegen. Scharfe Grenzen zwischen »großen« und »kleinen« Spannungen gibt es nicht; sie wären auch nicht zweckmäßig. Der Rundfunkempfangstechniker z. B. geht im allgemeinen mit Spannungen um, die oft nur in der Größenordnung von tausendstel, ja millionstel Volt liegen. Für ihn sind Spannungen in der Größe von 1 oder 2 Volt schon große Spannungen.

Umgekehrt sind für den Hochspannungstechniker, der sich mit dem Entwurf von Kraftwerken beschäftigt, Spannungen von mehreren hundert Volt nichts Besonderes. Die Begriffe »groß« und »klein« sind relativ und bedeuten für jeden Elektrospezialisten etwas anderes.

Wie unterscheiden sich nun äußerlich – ganz grob gesehen – Geräte für hohe Spannungen von denen für niedere Spannungen? Hochspannungsgeräte fallen vor allem durch ihre ausgeprägte Isolation auf. Meistens verwendet man – bei sehr hohen Spannungen – Porzellanisolatoren, die der Anlage ein ganz bestimmtes, respektables Aussehen geben. Solche Geräte sind die gelegentlich immer wieder in der Tagespresse abgebildeten Höchstspannungsanlagen zur Erzeugung künstlicher Blitze oder Einrichtungen für die Atomspaltung, die durch so riesenhafte Isolatoren

auffallen, daß das danebenstehende Bedienungspersonal fast zwergenhaft wirkt.
Weitere Kennzeichen beim Betrieb von Anlagen, die mit sehr hoher Spannung arbeiten, sind optischer und akustischer Art. Betrachtet man z. B. irgendeine Hochspannungsanlage im Dunkeln, so kann man mitunter hier und dort an den spannungführenden Stellen kleine blaue Flämmchen und Lichtbüschel sehen, ein Zeichen dafür, daß die hohe Spannung sich gern durch den Luftraum ausgleichen möchte. Auch das Wetterleuchten in der Natur beruht auf hohen Spannungen in der Atmosphäre. Diese Spannungen gleichen sich langsam durch die Luft aus, wenn sie zur Erzeugung eines Blitzes nicht ausreichen, und damit sind dann die erwähnten Lichterscheinungen verbunden. Für hohe Spannungen ist das leise Knistern und Zischen, das gewöhnlich die beschriebenen Lichtentladungen begleitet, charakteristisch. Bei einem plötzlichen Elektrizitätsausgleich in Form eines Funkens gibt es einen mehr oder weniger lauten Knall. Der eigentümlich scharfe und würzige Geruch, der sich beim Auftreten stiller Glimmentladungen an Hochspannungsanlagen verbreitet, ist die Folge einer chemischen Zerlegung der Luft unter dem Einfluß dieser elektrischen Entladung, bei der sich Ozon bildet, ein farbloses Gas von eigenartigem Geruch, wie wir es auch nach einem heftigen Gewitter im Freien finden.
Welche kennzeichnenden Eigenschaften hat nun eine Anlage für große Ströme? Sie hat infolge der Verwendung von starken Kupferschienen und dicken Leitungen ein mehr oder weniger »massives« Aussehen. Wer schon einmal ein Kraftwerk besucht hat, wird sich vielleicht an die vielen schweren Kupferschienen an den Wänden erinnern, die auf verhältnismäßig kleinen Isolatoren sitzen. Diese Schienen führen die niedergespannten starken Ströme von oft mehreren tausend Ampere, die meist die Summe aller Teilströme des angeschlossenen Verbrauchernetzes darstellen. Anlagen, die mit starken Strömen arbeiten, haben nicht solche Licht- und Toneffekte wie Hochspannungsanlagen, höchstens daß sie mitunter ein schwaches Brummen hören lassen; Lichterscheinungen zeigen sich überhaupt nicht. Manchmal strahlen sie eine nicht unbeträchtliche Wärme aus, denn die starken Ströme erzeugen trotz der durch die großen Querschnitte bedingten kleinen Widerstände eine ziemliche Verlustleistung, die in Form von Wärme an die Umgebung abgestrahlt wird. Ozonbildung tritt bei Niederspannungsanlagen nicht

auf. Es riecht dafür in der Umgebung solcher Geräte nach warmer Isolation oder nach Öl.
Wie wirken Hoch- und Niederspannung auf den menschlichen Körper? Zunächst sei festgestellt: Der menschliche Körper reagiert nicht auf die Spannung, sondern stets nur auf den Strom. Es ist also, genaugenommen, noch kein Mensch durch Hochspannung getötet oder verletzt worden. Die Erklärung dafür, warum nun Hochspannung für den Menschen gefährlicher ist als Niederspannung, ist aber ganz einfach. Nach dem Ohmschen Gesetz erzeugen hohe Spannungen im menschlichen Körper, den man sich in erster Annäherung als Ohmschen Widerstand vorstellen kann, starke Ströme, während kleine Spannungen nur schwache, mitunter gar nicht bemerkbare Ströme hervorrufen.
Ströme bis etwa 2 Milliampere werden vom menschlichen Körper überhaupt nicht wahrgenommen. Geht man darüber hinaus, so setzt die erste Empfindung ein, bei Gleichstrom ein leichtes Brennen an den Berührungsstellen der Elektroden, bei Wechselstrom gelindes Kitzeln. Ströme bis zu 10, ja 20 Milliampere sind im allgemeinen unschädlich, wenn sie mit Wissen der Versuchsperson langsam von Null an gesteigert werden; auch Ströme bis 50 Milliampere werden noch ohne Lebensgefahr vertragen. Bei etwa 100 Milliampere liegt aber die Grenze, nach deren Überschreitung meist der Tod eintritt, wenn der Strom lebenswichtige Organe, z. B. das Herz, auf seinem Wege passiert. Das ist immer der Fall, wenn der Strom in die eine Hand oder den einen Arm eintritt und aus dem anderen Arm wieder austritt. Auch bei einem Stromfluß zwischen Hand und Fuß werden das Herz und das empfindliche Rückenmark in Mitleidenschaft gezogen.
Es gibt verschiedene Gründe für die Schädigung des menschlichen Organismus durch den elektrischen Strom. Teils sind es Lähmungen, die durch eine Beeinflussung wichtiger Nervenstränge ausgelöst werden, teils Verbrennungen, die durch die beim Durchgang des Stromes im Körper erzeugte Hitze hervorgerufen werden können. Auch elektrolytische Zersetzungen des Blutes spielen eine Rolle; besonders bei langandauernder Wirkung verhältnismäßig schwacher Gleichströme können in dieser Beziehung sehr unangenehme Schädigungen auftreten.
Wie groß müssen nun die Spannungen sein, welche die eben erwähnten Stromstärken im menschlichen Körper hervorrufen? Die körperliche Beschaffenheit der Versuchsperson spielt eine große Rolle. Von ent-

scheidendem Einfluß ist die Stromart. Der elektrische Widerstand des Menschen ist z. B. bei Wechselstrom größer als bei Gleichstrom und wächst mit steigender Frequenz des Wechselstroms. Daher kommt es, daß beispielsweise Hochfrequenz dem menschlichen Körper praktisch auch bei sehr großen Spannungen nichts schadet, höchstens in Form von Verbrennungen.

Der für den Strom wirksame Körperwiderstand hängt sehr von der Beschaffenheit der Kontaktstellen ab. Wenn die Berührungsstelle trokken ist, dann ist auch der Widerstand um vieles größer als bei nassen Berührungsstellen. Berührt daher jemand mit nassen Füßen oder Händen eine spannungführende Leitung, so ist er bei gleicher Spannung einer viel größeren Gefahr ausgesetzt, als wenn er eine vollkommen trockene Haut hat.

So schwanken also die Spannungen außerordentlich, die zur Erzeugung eines bestimmten Stromes im menschlichen Körper erforderlich sind. Bereits bei Spannungen von 90 Volt sind Todesfälle bekannt geworden, während Spannungen in der Größenordnung von mehreren tausend Volt mitunter noch nicht zum Tode geführt haben. Man kann allgemein sagen, daß Spannungen ab 100 Volt für den menschlichen Körper grundsätzlich gefährlich sind. Das ist aber eine vollkommen unverbindliche Angabe, die lediglich als Richtzahl gelten kann.

Hohe Wechselspannungen werden heute für technische Zwecke im allgemeinen von Maschinen (Generatoren) erzeugt, die erst in Verbindung mit geeigneten Transformatoren Hochspannung liefern. Mit entsprechenden Anordnungen sind heute Spannungen in der Größe von etwa 1 Million Volt ohne weiteres zu erzielen. Hohe Gleichspannungen erhält man im allgemeinen durch Gleichrichtung hoher Wechselspannungen oder mit Hilfe besonderer Einrichtungen, sogenannter Stoßgeneratoren. Besonders kleine Wechselspannungen für technische Zwecke werden ebenfalls durch Transformation von Maschinenspannungen erzeugt. Man verwendet dazu Abwärtstransformatoren, die eine große Stromergiebigkeit zulassen. Kleine Gleichspannungen stellt man am besten in geeigneten Dynamos her, doch kommen auch Gleichrichter oder Akkumulatoren in Betracht. Mit Hilfe von Umformern lassen sich ebenfalls Spannungen und Ströme beliebiger Größe erzielen.

8. Das Schaltbild und die Bauteilebeschaffung

In der Elektrotechnik muß man viele Einzelorgane, z. B. Widerstände, Kondensatoren usw. zu einer »Schaltung« zusammenfügen. Diese Schaltungen können sehr verschiedenartig aufgebaut sein. Bevor das der Elektrotechniker in Wirklichkeit tut, macht er sich auf dem Papier einen kleinen Schaltungsentwurf. Es würde ihn zu lange aufhalten, müßte er jedesmal eine Spule, einen Transformator oder eine ähnlich komplizierte Einrichtung zeichnen. Deshalb hat man schon frühzeitig vereinfachte Schaltzeichen für die elektrischen Geräte, sogenannte *Schaltsymbole*, entworfen. Diese Symbole sind mit einigen wenigen Strichen skizziert, so daß die Anfertigung eines Schaltentwurfs in kurzer Zeit erledigt werden kann. Eine Zusammenstellung der gebräuchlichsten Schaltzeichen findet sich auf der Innenseite der Buchdeckel.

In der Zeichnung selbst werden die Symbole durch einfache Linien, mit denen die Verbindungsleitungen angedeutet sind, zu der eigentlichen Schaltung zusammengefügt. Sollen an irgendeiner Stelle zwei Leitungen miteinander verbunden werden, so deutet man das durch einen dicken Punkt an. Kreuzungen von Leitungen, die nicht miteinander in Verbindung stehen sollen, lassen sich nicht vermeiden. Eine solche Leitungskreuzung darf aber dann nicht mit einem Punkt versehen werden.

Die Anordnung der Schaltzeichen stimmt mit der wirklichen Lage der Bauteile nicht immer überein. In besonders aufwendigen Schaltungen, in denen viele Bauteile enthalten sind, ist eine derart sinngemäße Darstellung auch gar nicht möglich. Das Lesen eines Schaltbildes erlernt man meist schneller als das richtige Anordnen der einzelnen Bauteile. Hierzu gehören eine lange Arbeitspraxis und auch mancher Mißerfolg.

Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Geräte bereiten dem Anfänger sicherlich keine Schwierigkeiten. Eine ausführliche Beschreibung und übersichtliche Tafelbilder erleichtern den Einstieg in die interessante Elektrotechnik.

Zum Aufbau eines Gerätes braucht man Bauteile, Geld und Einkaufserfahrung. In der Großstadt zum Beispiel kann man ein Fachgeschäft

besuchen, sich von einem fachkundigen Verkäufer beraten lassen und preisgünstig einkaufen. Ganz anders sind die Verhältnisse auf dem Lande, wo den Bastlern keine Fachgeschäfte zur Verfügung stehen. Hier hilft der Versandhandel (im Buchanhang finden Sie die Anschriften leistungsfähiger entsprechender Geschäfte). Der Einkauf über ein Versandgeschäft erfordert viel Sorgfalt und Überlegung. Man sollte zunächst Kataloge bestellen, die oft einen beträchtlichen Umfang haben, aber alles enthalten, was für die Elektrotechnik und Elektronik erforderlich ist. Ein solcher Katalog bildet die Grundlage für einen erfolgreichen Einkauf – eine Bestellung soll nur nach dem Katalog erfolgen –; er ist auch ein Gewinn für die Materialkunde, die dem Anfänger meistens fehlt. – Es ist wichtig, die Lieferbedingungen genau zu lesen, denn manche Firmen erheben einen Mindestmengenzuschlag, wenn der Rechnungsbetrag unter einem bestimmten Wert liegt. Ein paar Widerstände und Kondensatoren können dann mit den zusätzlichen Postgebühren sehr teuer werden. Andere Firmen erledigen Bestellungen grundsätzlich erst ab einem bestimmten Betrag. Bleibt die aufgegebene Bestellung unter diesem Betrag, so wartet der Bastler vergeblich auf die Lieferung. Das alles sind Nachteile, die man aber zunächst in Kauf nehmen muß. Mit zunehmender Einkaufserfahrung wird man Wege finden, Bauteile preisgünstig zu erwerben.

9. Leitungsprüfer

9.1 Ein Leitungsprüfer mit LED-Anzeige

Sie sollen nun als praktische Untermauerung der erlernten Grundlagen gleich ein kleines, sehr brauchbares Gerät bauen, das anzeigt, ob ein Widerstand oder ein Gerät Strom leitet oder nicht. Ein solcher »Leitungsprüfer« hat im Haushalt zahllose praktische Anwendungen. Wird z. B. ein Bügeleisen nicht mehr heiß, so muß man es deshalb nicht sofort

in sämtliche Bestandteile zerlegen, sondern kann zuerst mit dem Leitungsprüfer alle möglichen Fehlerquellen nachprüfen. Das kann sich auf die Sicherung, die Anschlußschnur und das Bügeleisen selbst beziehen. Der Leitungsprüfer zeigt sofort an, welches dieser drei Teile in Ordnung bzw. defekt ist.

Die auf der Seite 18, Abb. 1 gezeigte Grundschaltung läßt sich behelfsmäßig auch für eine Leitungsprüfung verwenden. An Stelle des Drehwiderstandes R wird der zu prüfende Gegenstand – Sicherung, Lampe, Verlängerungsleitung usw. – in den Stromkreis geschaltet. Ist ein Stromdurchgang vorhanden, so leuchtet das Lämpchen auf, im andern Fall ist der Stromkreis unterbrochen. Mit dieser primitiven Prüfung kann man entscheiden, ob der geprüfte Gegenstand noch zu reparieren ist. Die Prüfanzeige mit dem Glühlämpchen hat aber einen großen Nachteil, der sofort in Erscheinung tritt, wenn der zu prüfende Gegenstand einen höheren Eigenwiderstand aufweist. Dieser Widerstand, der in Reihe zu dem Lampenwiderstand liegt, wirkt als Vorwiderstand, der das Lämpchen nicht leuchten läßt, auch wenn der Stromkreis in Ordnung ist. Eine Entscheidung bezüglich des Stromdurchgangs kann hier also nicht getroffen werden.

Bei einem nach Abb. 18 selbstgefertigten Leitungsprüfer entfallen die erwähnten Nachteile. Es lassen sich vielmehr Unterbrechungen an niederohmigen und hochohmigen (Meßbereich bis 1 MΩ) Stromleitern deutlich erkennbar ermitteln. Diese einfache, aus wenigen Bauteilen bestehende Schaltung wird dem Anfänger keine Schwierigkeiten bereiten, selbst wenn er zum ersten Mal mit einem Transistor arbeitet. Wichtig ist vor allem, daß die Anschlußdrähte des Transistors nicht zu lange der Lötkolbenwärme ausgesetzt sind. Weiterhin muß auf saubere, blanke und vor allem fettfreie Anschlußdrähte – die Grundbedingung – geachtet werden. Natürlich darf man die Anschlußdrähte des Transistors nicht verwechseln. Man sollte deshalb als gute Einlöthilfe die Anschlußdrähte mit einem kurzen farbigen Geweberüschschlauch (0,5 mm Durchmesser) so weit isolieren, daß nur 2–3 mm blanker Anschlußdraht zum Löten freibleibt. Wenn man sich angewöhnt, für die Anschlüsse Basis, Emitter und Kollektor stets bestimmte Farben zu verwenden, schließt man Verwechslungen von vornherein aus.

Nun zur Arbeitsweise der Schaltung. Die Widerstände R1 und R2 bilden einen Spannungsteiler, der so bemessen ist, daß im Transistor T

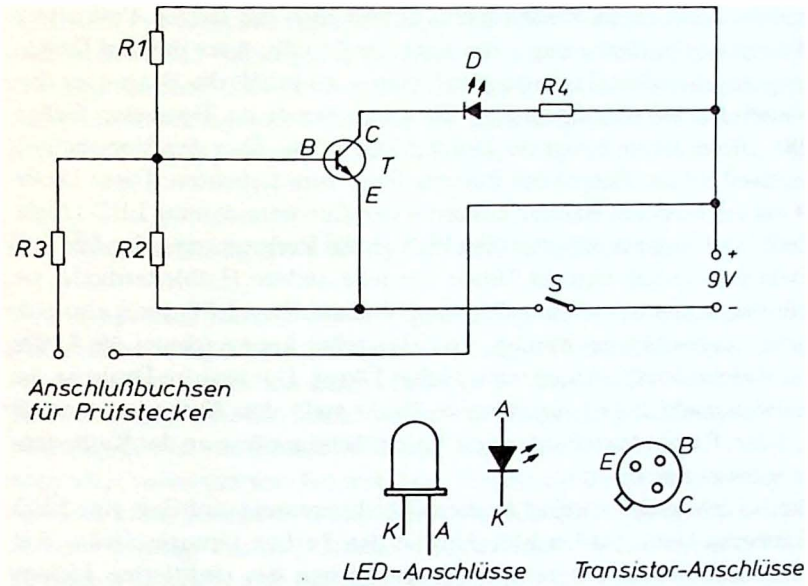


Abb. 18 Leitungsprüfer mit LED-Anzeige

Stückliste zum Leitungsprüfer mit LED-Anzeige

Kohleschichtwiderstände Reihe E 12, 0,25 W

1 Widerstand R1 470 kΩ
1 Widerstand R2 100 kΩ
1 Widerstand R3 470 Ω
1 Widerstand R4 560 Ω
1 Transistor T BCY 58 oder ähnlich
(verwendbar sind auch die NF-Typen BC 107, BC 108, BC 109, BC 148)
1 Subminiatur-Kippschalter S einpolig AUS/EIN
1 LED (rot) D 5 mm ∅, Durchlaßstrom 20 mA, Durchlaßspannung ≈ 2,7 V
1 Transistorbatterie 9 V (Varta)
1 Druckknopfanschluß, zweipolig (Varta)
2 Prüfspitzen oder Bananenstecker
1 Kunststoffgehäuse, glasklar, Größe nach eigener Wahl
1 Lochrasterplatte 1,5 mm, Rastermaß 2,5 mm, Lochdurchmesser 1,3 mm, Abmessungen 50 × 100 mm
3 m Geweberüschschlauch, Farbe nach Wahl, 0,5 mm ∅
2 m Meßleitung, hochflexibel, 1,0 mm^2, Farbe nach Wahl

zunächst kein Strom fließen kann. Bringt man die beiden Prüfspitzen miteinander in Berührung – das kann direkt oder über den auf Durchgang zu prüfenden Gegenstand erfolgen –, so erhält die Basis über den Widerstand R3 eine Spannung, die einen Strom im Transistor fließen läßt. Dieser Strom bringt die Leuchtdiode D, die über den Vorschaltwiderstand R4 am Pluspol der Batterie liegt, zum Leuchten. Diese Diode ist ein interessantes Bauteil, das unter der Kurzbezeichnung LED (*L*ight *E*mitting *D*iode) in jüngster Zeit eine große Verbreitung gefunden hat. Elektrisch verhält sich die Diode wie jede andere Halbleiterdiode; sie läßt den Strom nur in einer Richtung fließen. Eine LED muß also polrichtig angeschlossen werden. Die Hersteller kennzeichnen die LEDs mit Anschlußdrähten unterschiedlicher Länge. Der längere Draht ist der Anodenanschluß (+), der kürzere Draht stellt den Kathodenanschluß (−) dar. Es gibt auch Bauformen, deren Rundgehäuse an der Kathodenseite etwas abgeflacht ist.

Bei polrichtigem Anschluß an eine Gleichspannung emittiert eine LED sichtbares Licht. Sie leuchtet dann in den Farben Orange, Grün, Rot oder Gelb auf. Die unterschiedlichen Farben des emittierten Lichtes werden durch verschiedenartige Halbleiterstoffe verursacht. Beim Kauf einer LED muß also stets die gewünschte Farbe angegeben werden. Die durchschnittliche Stromaufnahme beträgt etwa 20 mA. Dieser geringe Stromverbrauch ist der wesentliche Grund für die Verwendung einer LED an Stelle eines kleinen Lämpchens in der Schaltung nach Abb. 18. Als Batterie dient eine 9-Volt-Transistorbatterie, deren Spannung mit einem Miniaturschalter einpolig aus- und eingeschaltet wird. Als Prüfspitzen können auch einfache Bananenstecker verwendet werden. Um beim Prüfen etwas Bewegungsfreiheit zu haben, ist es zweckmäßig, die Prüfschnüre möglichst lang (ca. 80 cm) zu wählen. Der Fachhandel bietet hierfür Prüf- oder Meßleitungen an; das sind extrem flexible und gut isolierte Leitungen, die speziell für Prüfgeräte verwendet werden.

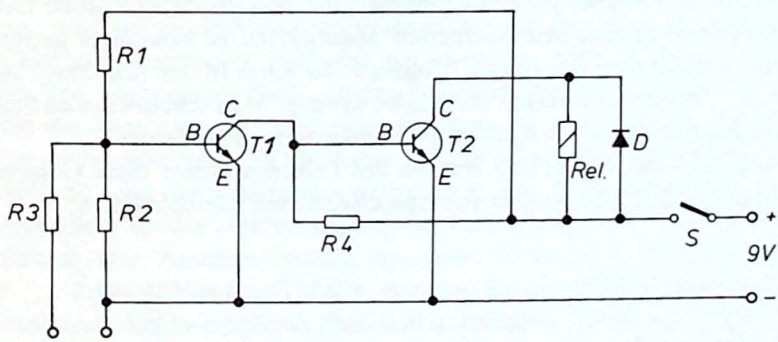
Wie baut man eine solche Schaltung auf? Die wenigen Bauteile benötigen nicht viel Platz. Als Bauteileträger genügt eine Rasterplatte, die mit der Laubsäge auf das gewünschte Maß zugeschnitten wird. Der Anfänger kann die Bauteile etwas weiträumiger anordnen; die sicher noch vorhandenen Lötschwierigkeiten können dann keinen Schaden anrichten. Als Schutzgehäuse empfiehlt sich eine kleine transparente Plastikschachtel, in der auch die Batterie untergebracht wird. Die Pole der Bat-

terie sind mit Druckknopfanschlüssen versehen und lassen sich leicht anschließen. Die Befestigung der Batterie auf der Rasterplatte erfolgt mit einem kleinen 0,5 mm dicken Blechbügel, den man so zurechtbiegt, daß er mit seiner eigenen Federkraft die Batterie festhält. Abb. 4, Tafel 4 zeigt den Leitungsprüfer mit LED-Anzeige.

9.2 Ein Leitungsprüfer mit Relaissteuerung

Wer seine erste Bastelarbeit mit Erfolg abgeschlossen hat, fühlt sich sicherlich ermutigt, den Leitungsprüfer entsprechend Abb. 19 zu erweitern. Die erste Stufe mit dem Transistor T1 ist, wie ein Vergleich mit Abb. 18 zeigt, völlig identisch mit dem bereits gebauten Leitungsprüfer. Neu dagegen ist die zweite Stufe mit T2, die ein Relais steuert, das je nach der vorhandenen Kontaktzahl verschiedene Arbeitsfunktionen auslösen kann. So können z. B. elektrische Klingeln, Signallampen oder Summer betätigt werden. Gerade ein akustisches Signal erweist sich als besonders nützlich, weil man sich dann beim Prüfen ganz auf das Prüfobjekt konzentrieren kann.
Die Wirkungsweise der Schaltung nach Abb. 19 ist leicht zu verstehen. Der bereits bekannte Spannungsteiler mit den Widerständen R1, R2 erzeugt eine Spannung, die die Basis von T1 so stark positiv macht, daß das Kollektorpotential ausreicht, um den Transistor T2 zu sperren. Die Basis dieses Transistors ist in diesem Falle stark negativ. Wird nun mit

Abb. 19 Leitungsprüfer mit Relaissteuerung



den Prüfspitzen über R3 eine negative Spannung an die Basis von T1 geführt, dann geht der Kollektorstrom zurück, das Kollektorpotential wird positiver und läßt im Transistor T2 einen Strom fließen. Dieser Strom reicht aus, um das Relais Rel zu betätigen. Beim Abschalten des Relais entstehen in der Magnetspule hohe Spannungsspitzen, die den Transistor T2 gefährden können. Zum Schutz gegen diese Überlastungsspitzen dient die Diode D. Die Wahl des Relais hängt im wesentlichen von der Anzahl der gewünschten Schaltvorgänge ab. Im Fachhandel werden zahlreiche Kleinrelais angeboten. Man muß beim Einkauf nur darauf achten, daß die Spulenspannung im Bereich von 6 bis 12 V liegt und daß die Stromaufnahme möglichst klein ist.

Ergänzungs-Stückliste

1 Kohleschichtwiderstand R4 4,7 kΩ/¼ W
1 Transistor T2 BCY 58 oder ähnlich
1 Relais nach Wahl Spulenspannung 6 . . . 12 V =,
Stromaufnahme max. 20 mA
1 Diode D 1 N 4002 oder ähnlich

Zubehör

1 Signallampe mit Fassung 10 V, 0,05 A
oder
1 elektrische Klingel 6 . . . 12 V
oder
1 Kleinsummer 4 . . . 15 V/15 mA
Abmessungen 16 × 14 × 32 mm, Typ MEB-9 (Radio RIM) oder
(Völkner-electronic)

Der unter Zubehör genannte Summer, der sich durch eine große Lautstärke und geringe Stromaufnahme auszeichnet, ist besonders geeignet zur Ansteuerung mit einem Transistor. Er kann in der Schaltung nach Abb. 19 ohne Steuerrelais verwendet werden. Man schaltet ihn an Stelle der Relaisspule in den Kollektor-Stromkreis des Transistors T2.
Abb. 5, Tafel 4 zeigt den Aufbau des Leitungsprüfers ohne Gehäuse, Abb. 6, Tafel 5 die Ansicht von handelsüblichen Kleinsummern.

10. Ein Leitungssucher

Ein Volltreffer muß nicht immer Begeisterung auslösen. Da schlägt man ahnungslos einen Nagel in die Wand; ein, zwei Schläge, und plötzlich ist die ganze Wohnung ohne Strom. Der Nagel hat eine im Wandverputz verborgene Stromleitung getroffen und einen Kurzschluß verursacht. Meistens hat so ein Kurzschluß unangenehme Folgen; die Isolierung des angeschlagenen Kabels wurde beschädigt, eine Ersatzleitung muß neu verlegt werden usw. Solch eine Panne kommt immer wieder vor.
Wer sich davor schützen will, wird vor Beginn der handwerklichen Hausarbeit die Wand mit einem Suchgerät sorgfältig abtasten, um festzustellen, ob nicht etwa eine verborgene Stromleitung im Wege liegt.
Die vom Versandhandel angebotenen Metallsucher sind für das Auffinden derartiger Stromleiter ungeeignet, weil die Geräte nicht unterscheiden, ob es sich im Mauerwerk um ein verborgenes Stahlgeflecht, ein Wasserleitungsrohr oder ein Elektrokabel handelt. Besser eignet sich ein selbstgebautes Leitungssuchgerät, das nicht auf Metalle, sondern auf elektrische Felder anspricht.
In Kapitel 3, Seite 23 wird erläutert, daß eine unter Spannung stehende Leitung von einem elektrischen Feld umgeben ist. Dieses elektrostatische Feld ist zwar sehr schwach, kann aber bei präziser Einstellung des Leitungssuchers bereits nachgewiesen werden. Fließt in der Leitung ein Strom, den ein angeschlossener Verbraucher verursacht, dann entsteht ein elektromagnetisches Feld, das um so stärker wird, je mehr Strom durch den Verbraucher fließt. Dieses Feld reicht für den Leitungssucher völlig aus. Man kann die Lage eines Kabels in der Mauer auf den Zentimeter genau ermitteln. Es lohnt sich auf jeden Fall, den Leitungssucher – Abb. 20 zeigt die Schaltung – aufzubauen. Die Ankopplung des Leitungssuchers an das elektromagnetische Feld erfolgt mit einer kleinen Antenne. Die Antenne besteht aus einem etwa 15 cm langen und 1,5 . . . 2 mm dicken Kupferdraht, den man an der Gehäuseseitenwand so montiert, daß er möglichst flach und in geringem Abstand zur Mauer vorbeigeführt werden kann. Nähert man sich einem elektromagneti-

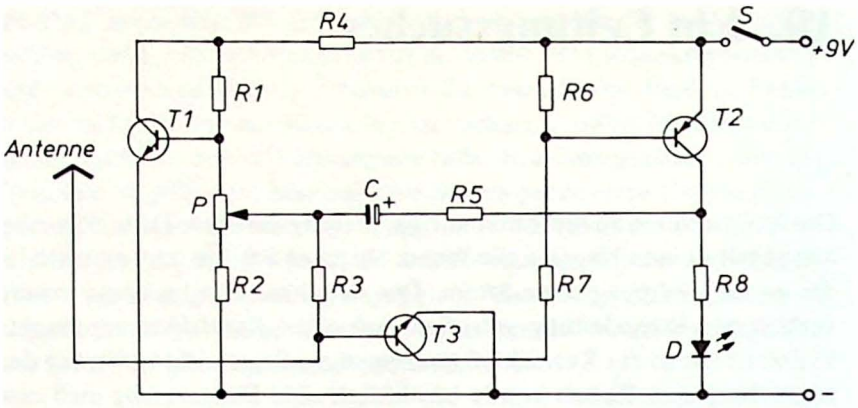


Abb. 20 Leitungssucher

schen Feld, so gelangt die induzierte Wechselspannung zur Basis des Transistors T3. Die positiven Halbwellen dieser Wechselspannung versetzen T3 in einen leitenden Zustand; es kommt ein Stromfluß über die Widerstände R6, R7 zustande. Durch den am Widerstand R6 entstehenden Spannungsabfall wird auch der Transistor T2 leitend und die LED-Diode leuchtet auf. Der Widerstand R8 hat lediglich die Funktion eines Vorschaltwiderstandes und dient zur Strombegrenzung der Leuchtdiode. Gleichzeitig wird über R5 der Kondensator C aufgeladen, was zur Folge hat, daß die Diode D wieder verlöscht. T3 wird so lange gesperrt, bis sich der Kondensator C wieder entladen hat.

Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch so häufig, wie die elektrischen Felder von der Antenne aufgenommen werden; die Leuchtdiode blinkt also. Mit dem Potentiometer P wird eine Gleichspannung abgegriffen und der Feldwechselspannung überlagert. Dabei stellt man den Schleifer von P so ein, daß bei unbeeinflußter Antenne die Leuchtdiode kurz vor dem Aufleuchten ist. Damit hat der Leitungssucher die höchste Empfindlichkeit erreicht. Bei Annäherung an eine Stromleitung beginnt die Diode D sofort zu blinken. Durch entsprechende Nachregulierung am Potentiometer läßt sich die Lage der gesuchten Leitung genau feststellen.

Der Transistor T1 stabilisiert die Überlagerungsspannung, so daß die Gleichspannung keinerlei Schwankungen unterliegt.

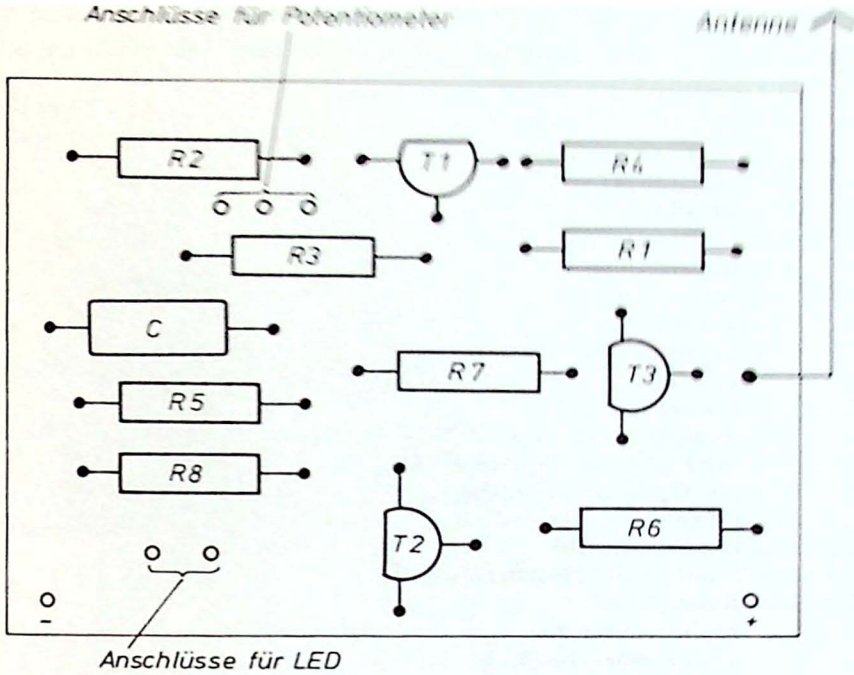
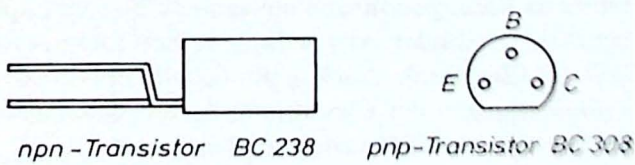


Abb. 21 Lage der Bauteile für den Leitungssucher

Der Aufbau der Schaltung erfordert keine besondere Geschicklichkeit. Eine etwa 70 × 40 mm große Rasterplatte dient als Bauteileträger. Ordnet man die Bauelemente nach dem Lageplan Abb. 21 an, so können auf der unteren Seite der Rasterplatte die erforderlichen Drahtverbindungen kreuzungsfrei geschaltet werden. Für die Verbindungsleitungen zu Potentiometer, Schalter, Leuchtdiode und Batterie eignet sich eine dünne isolierte Schaltlitze.

Abb. 22 Transistoranschlüsse



Einer alten Erfahrung folgend sollte man vor Inbetriebnahme des Gerätes die Schaltarbeiten nochmals genau überprüfen. Das gilt besonders für die Transistoranschlüsse nach Abb. 22.

Stückliste zum Leitungssucher

R1	Widerstand 12 kΩ
R2	Widerstand 3,6 kΩ
R3	Widerstand 120 kΩ
R4	Widerstand 6,8 kΩ
R5	Widerstand 12 kΩ
R6	Widerstand 680 kΩ
R7	Widerstand 8,2 kΩ
R8	Widerstand 120 Ω
C	Kondensator 1 µF/16 V
P	Miniaturpotentiometer 2,5 kΩ, lin.
D	LED mit Fassung, Farbe nach Wahl
S	Miniatur-Kippschalter, einpolig
T1	npn-Transistor BC-238
T2	pnp-Transistor BC-308
T3	npn-Transistor BC-238 (oder ähnlich)
Zubehör:	Rasterplatte
	Kunststoffgehäuse
	Transistorbatterie (9 V)
	Schaltmaterial

11. Ein Stromversorgungsgerät

Ein Stromversorgungsgerät, das die gefährliche Lichtspannung in ungefährliche Kleinspannungen umwandelt, ist zum Experimentieren unentbehrlich. Es findet Anwendung in der Elektrotechnik, Radiotechnik und der Elektronik. Auch in der Schule, in Werkstätten, in Labors, den Prüfabteilungen der Elektroindustrie begegnet man Stromversorgungsgeräten der verschiedensten Ausführungen.

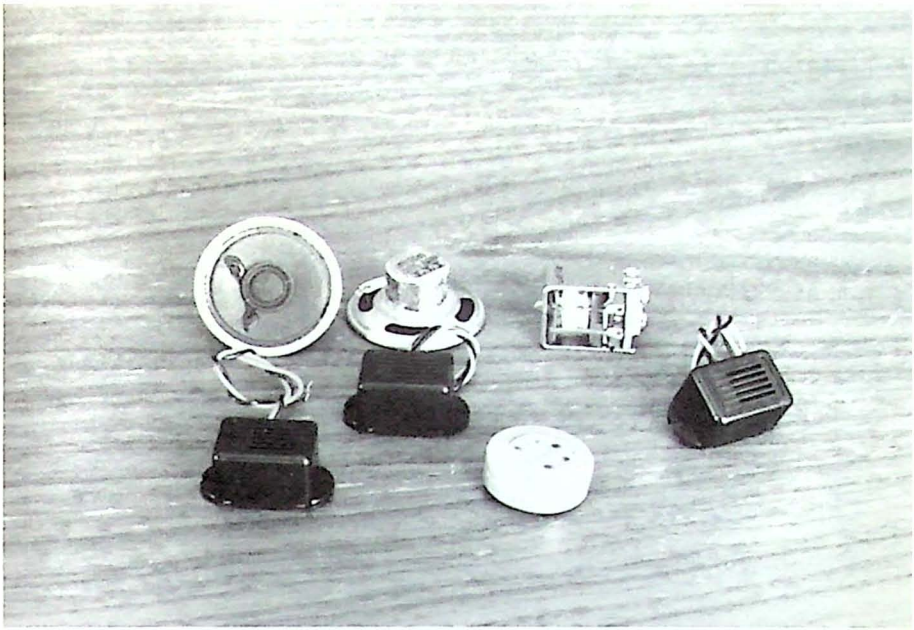
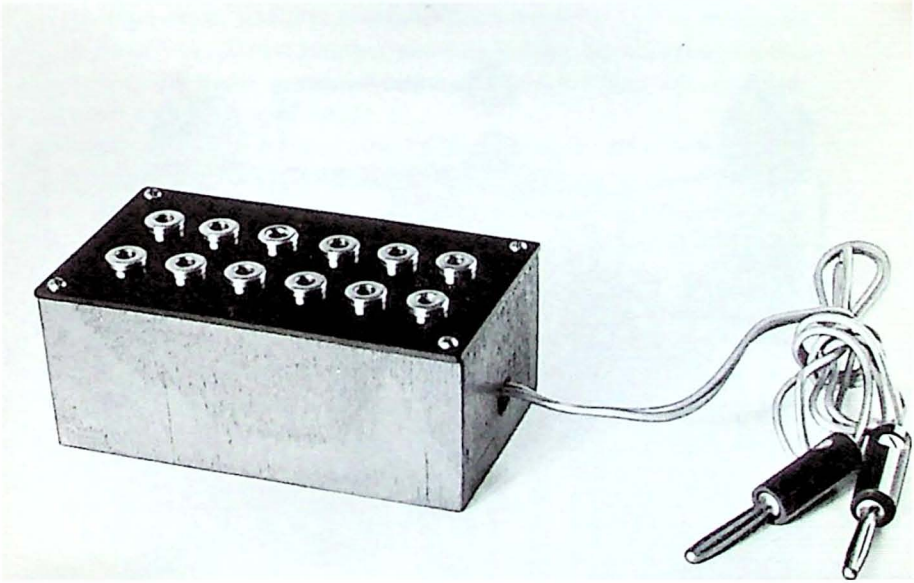


Abb. 6: Diverse Kleinsummer, gut geeignet für Leitungsprüfer

Tafel 5

Abb. 7: Ein Verteilerkästchen für Schwachstrom



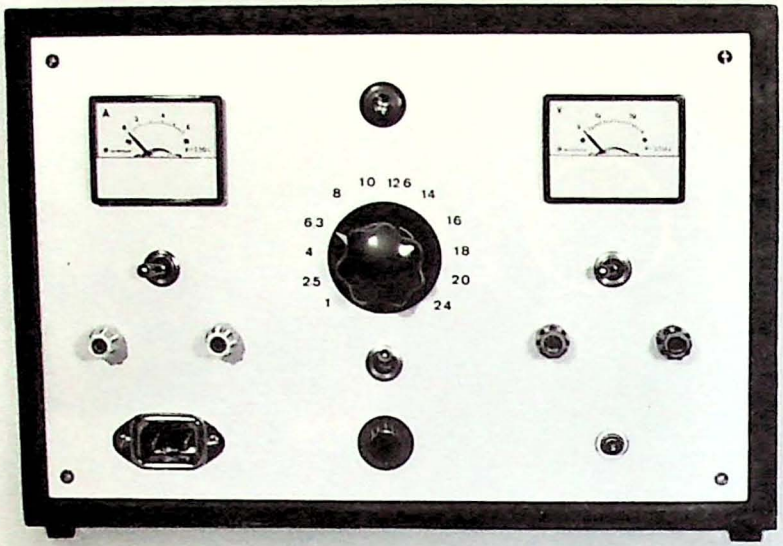
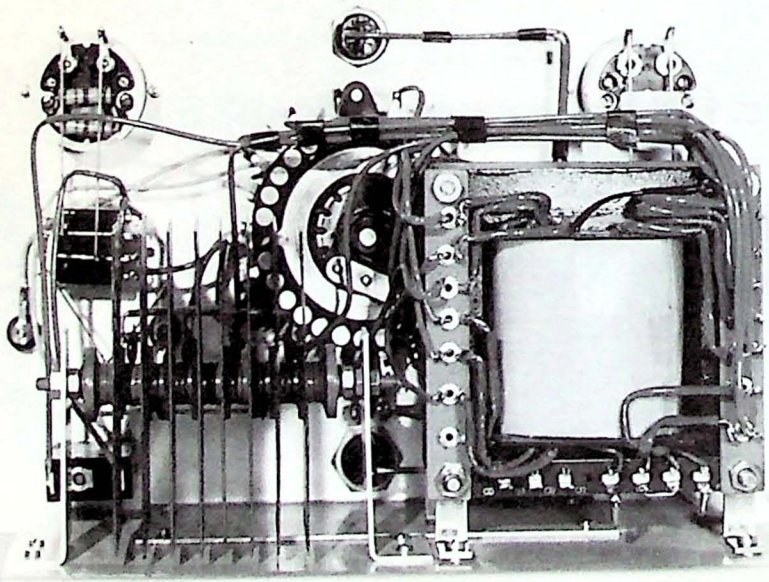


Abb. 8: Außenansicht des Stromversorgungsgerätes

Tafel 6

Abb. 9: Innenansicht des Stromversorgungsgerätes



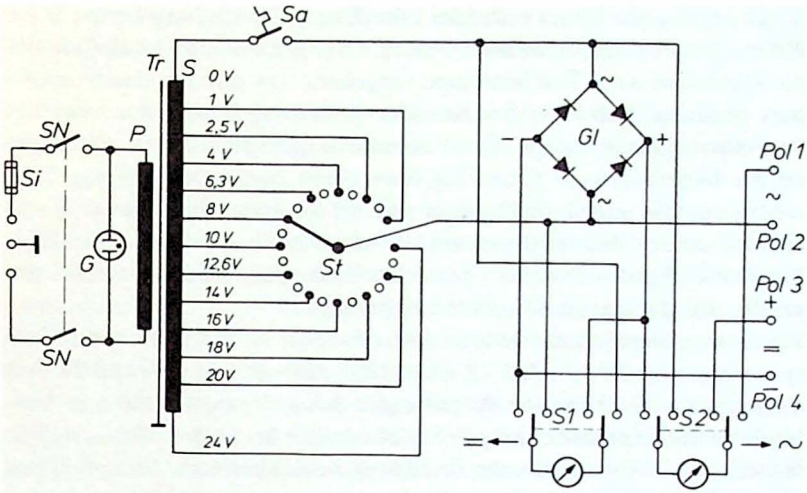


Abb. 23 Die Schaltung des Stromversorgungsgerätes

Das Gerät ist im Aufbau so einfach gehalten, daß sein Nachbau auch dem Anfänger keine Schwierigkeiten bereiten kann. Die verwendeten Bauteile sind handelsüblich. Von einer Selbstfertigung des Transformators sei abgeraten, weil das aufzuwendende Material fast so viel kostet wie ein käuflicher Transformator; außerdem endet der Eigenbau für den Ungeübten meist mit einem Mißerfolg. Zunächst werde ich die Schaltung nach Abb. 23 besprechen.

Die Netzspannung wird über eine Feinsicherung Si und einen zweipoligen Kippausschalter SN der Primärspule P des Transformators Tr zugeführt. Der Anschluß an das Netz erfolgt über eine Europa-Einbau-Kaltgeräte-Steckdose. Diese Steckdose ist dreipolig ausgeführt und in einem Metallkragen untergebracht. Der mittlere Anschluß dient zur Schutzerdung des Gerätechassis. Zu dieser Steckdose gehört ein Kaltgeräte-Netzkabel, das dreipolig mit einem passenden Stecker und einem Schukostecker verbunden ist. Parallel zur Primärwicklung ist eine Glimmlampe G geschaltet, die in einer Signallampenfassung Aufnahme findet. Die Glimmlampe dient zur Einschaltanzeige. Beleuchtungstechnisch kommt ihr keine Bedeutung zu, weil die abgestrahlte Lichtmenge

ja sehr gering ist. Man verwendet eine Zwerg-Signalglimmlampe E 10/220 mit eingebautem Schutzwiderstand. Die Glimmlampe ist ähnlich wie die Glühbirne einer Taschenlampe aufgebaut. Im Inneren des Glaskörpers befinden sich zwei voneinander getrennte Elektroden und ein bestimmtes Gas (meistens Neon) unter sehr geringem Druck. Steigt die an die Lampe gelegte Spannung über einen bestimmten Wert, dann erhöht das Gas seine Leitfähigkeit, weil die wenigen vorhandenen freien Elektronen aus den Gasatomen Elektronen herausschlagen. Das führt zur Erhöhung des Stromes, der schließlich einen Wert erreicht, der genügt, um das Gas zum Leuchten zu bringen.

Die Sekundärspule hat mehrere Anzapfungen; an ihr werden die Teilspannungen 1 – 2,5 – 4 – 6,3 – 8 – 10 – 12,6 – 14 – 16 – 18 – 20 und 24 Volt abgegriffen. Die einzelnen Abgriffe der Sekundärspule stehen in Verbindung mit einem mehrpoligen Stufenschalter St. In der Mitte des Stufenschalters befindet sich ein drehbarer Schleifkontakt. Entsprechend seiner Drehstellung wird eine Verbindung zu den Schalterkontakten hergestellt, die jeweils gewünschte Teilspannung abgenommen und der Polklemme Pol 2 zugeführt. Zwischen den Arbeitskontakten des Stufenschalters befindet sich immer ein Leerkontakt, damit ein Kurzschluß zweier Arbeitskontakte beim Drehen des Schleifkontaktes vermieden wird.

Beim Anschlußpunkt 0, dem Anfang der Sekundärwicklung, befindet sich ein Überstromschutzschalter Sa, der die Aufgabe hat, die Sekundärwicklung vor Überlastung zu schützen. Eine Überlastung kann z. B. eintreten, wenn zu viel Strom entnommen wird oder wenn ein Kurzschluß entsteht. Der Überstromschutzschalter begrenzt den entnommenen Strom auf 6 A. Fließt mehr Strom, dann schaltet der Schalter selbsttätig ab; er wirkt also ähnlich wie eine Sicherung.

Der große Vorteil des Stromversorgungsgerätes ist, daß im Niederspannungsbereich nicht nur Wechselstrom, sondern auch Gleichstrom entnommen werden kann. Die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom erfolgt mit einem Selengleichrichter.

Unter einem Gleichrichter versteht man ganz allgemein ein elektrisches Bauteil, dessen Widerstand von der Stromrichtung abhängt. Es gibt Gleichrichter in allen Größen und Bauformen, je nach ihrem Verwendungszweck. Früher, als man noch keine Halbleiter kannte, wurden hauptsächlich Röhrengleichrichter benützt, sogenannte Röhrendioden;

heute kommen fast nur noch die viel einfacher zu handhabenden Halbleitergleichrichter in Frage. Ihre Funktionsweise sollen Sie etwas näher kennenlernen.

Halbleiter sind im Gegensatz zu Isolatoren (Porzellan, Glas) oder Leitern (Metall, Kohlenstoff) chemische Elemente, die durch geringe Verunreinigung (Dotierung) mit anderen Elementen, z. B. Indium oder Arsen, erstaunliche elektrische Eigenschaften erhalten. Zwei solchermaßen dotierte Halbleiterschichten bilden nämlich dort, wo sie aneinanderstoßen, eine sogenannte Grenzschicht aus, die in einer Richtung für Ladungsträger sehr gut durchlässig ist, in der Gegenrichtung aber einen sehr hohen Widerstand darstellt. Wir haben es also mit einem elektrischen Ventil zu tun. Die Höhe des Durchlaß- und des Sperrwiderstandes einer solchen Halbleiterzelle hängt vor allem vom Halbleitermaterial und von der Dicke der Sperrschicht ab. Als technisch verwendbare Halbleiterelemente kommen vor allem Germanium, Silizium und Selen in Frage. Schließt man an eine derartige Halbleiterzelle eine Wechselspannung an, so wird in der einen Richtung Strom fließen, in der ande-

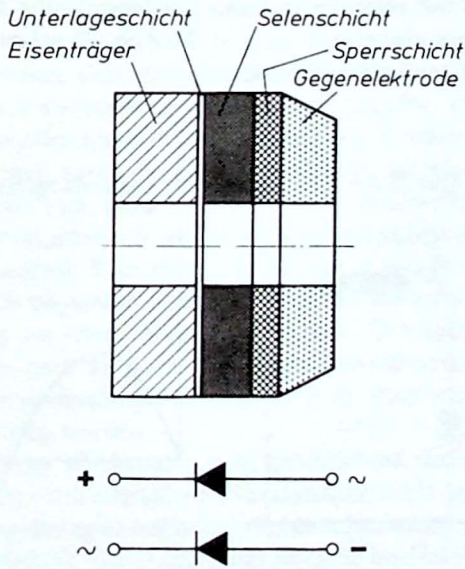


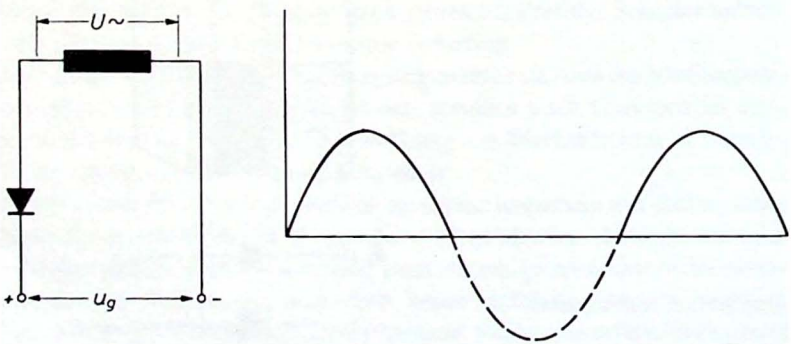
Abb. 24 Der Aufbau eines Selengleichrichters

ren das Ventil jedoch sperren. Die Zelle wird also immer in der gleichen Richtung, d. h. von Gleichstrom durchflossen. Daher kommt der Name Gleichrichter.

Abb. 24 zeigt den Aufbau einer Selengleichrichterzelle. Als Träger der Halbleiterschicht dient ein vernickeltes Eisenblech. Der hauchdünne Nickelbelag ist die Unterlageschicht für das Selen mit der angrenzenden Sperrschicht. Ein weiteres, mit einer Zinn-Cadmium-Schicht versehenes Eisenblech dient als Gegenelektrode, an der in Durchlaßrichtung der Strom abgenommen werden kann. Die Form der Trägerplatten ist sehr verschieden. Sie kennen runde und eckige Ausführungen unterschiedlicher Größe. Die Belastbarkeit einer Gleichrichterzelle hängt von der wirksamen Fläche des Halbleiterbelages ab. Je größer also der Plattendurchmesser ist, um so größer kann der Strom gewählt werden. Allerdings haben Gleichrichterzellen nur beschränkte Spannungsfestigkeit; sie liegt bei etwa 10 V. Will man mit höheren Spannungen arbeiten, muß man mehrere Zellen hintereinanderschalten, um die gewünschte Spannungsfestigkeit zu erhalten.

Das Schaltsymbol für eine Halbleiter-Gleichrichterzelle ist ein fettgedruckter Pfeil, dessen Spitze an einen senkrechten Strich grenzt. Der Pfeil zeigt die technische Stromrichtung des durchgelassenen Stromes an, also von + nach −. In Abb. 25 sehen Sie die einfachste Art einer Gleichrichterschaltung.

Abb. 25 Der Einweggleichrichter und sein Spannungsverlauf



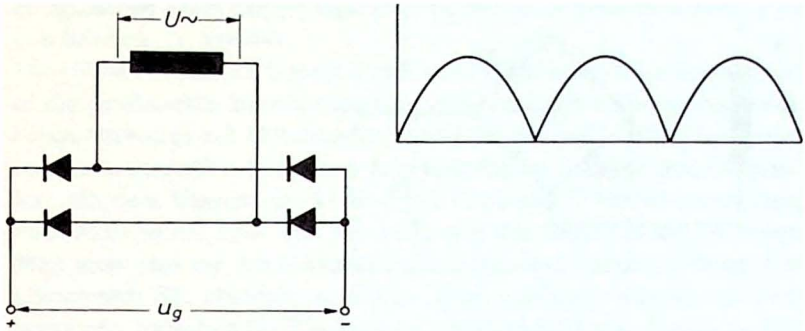


Abb. 26 Die Doppelweggleichrichtung mit ihrem Spannungsverlauf

Es handelt sich hier um einen Einweggleichrichter. Wie der Spannungsverlauf zeigt, wird dem Verbraucher nur dann eine Spannung zugeführt, wenn die Polarität der Wechselspannung der Durchlaßrichtung des Gleichrichters entspricht. Es entstehen also am Verbraucher Spannungsstöße, deren zeitliche Folge mit der Netzfrequenz von 50 Hz übereinstimmt. Würde man mit dieser stark pulsierenden Gleichspannung ein Radiogerät betreiben, so würde man nur lautes Brummen hören.
Schaltet man parallel zum Verbraucher einen größeren Kondensator, so kann man diese Welligkeit des Gleichstromes ausgleichen. Der Kondensator wirkt als Speicher. Er wird durch die positive Halbwelle aufgeladen und gibt seine Ladung wieder ab, wenn bei der negativen Halbwelle eine Strompause eintritt. Im allgemeinen ist die Einweggleichrichtung recht ungünstig, weil der speisende Transformator schlecht ausgenutzt wird. Es bleibt eine Halbwelle ungenutzt, außerdem wird nur die halbe zur Verfügung stehende Zeit zur Gleichrichtung verwendet. Der trotz Glättungskondensator immer noch zu hohe Wechselstromanteil kann nur durch hohen Aufwand an sogenannten Siebmitteln, z. B. Siebdrosseln und Kondensatoren, beseitigt werden.
Wenn man beide Halbwellen der Wechselspannung gleichrichtet, dann erhält der Verbraucher die doppelte Anzahl von Stromstößen. Abb. 26 zeigt die Schaltung eines Doppelweggleichrichters. Aus dem Spannungsverlauf kann man erkennen, daß die bisher ungenutzt gebliebenen Halb-

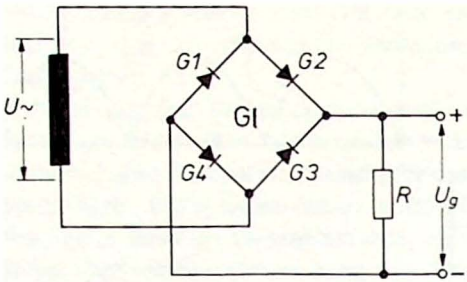


Abb. 27 Die Brückengleichrichtung

wellen nach oben gekippt sind. Die Pulsation oder Welligkeit dieser Gleichspannung beträgt 100 Hz. Sie kann mit einem Kondensator wirkungsvoller geglättet werden als beim Einweggleichrichter.

Weit verbreitet ist die Doppelweggleichrichtung mit einem Brückengleichrichter. Man benötigt dazu allerdings 4 Gleichrichter, die zu einer Brücke zusammengeschaltet sind. Diese Schaltungsart, die früher als Graetzschaltung bezeichnet wurde, hat den Vorteil, daß ein nahezu reiner Gleichstrom gewonnen werden kann. In unserem Stromversorgungsgerät findet die Brückengleichrichtung Anwendung, deren Wirkungsweise an Hand der Abb. 27 leicht zu verstehen ist.

Wie der Gleichrichter Gl in die Schaltung des Stromversorgungsgeräts einzufügen ist, zeigt Abb. 23. Die Wechselspannungsseite des Gleichrichters erhält die Teilspannung, die mit dem Stufenschalter eingestellt wird. Ist z. B. der Schleifer des Stufenschalters auf den Bereich 8 V eingestellt, dann können von den Polklemmen Pol 1 und Pol 2 8 V Wechselspannung entnommen werden, während an den Polklemmen Pol 3 und Pol 4 8 V Gleichspannung zur Verfügung stehen. Eine gleichzeitige Entnahme von Gleich- und Wechselspannung ist jedoch nicht möglich, weil die Abnahme der gewünschten Spannung von den jeweiligen Stellungen der Umschalter S1 und S2 abhängt.

Um die Größe der Klemmenspannungen und die Menge des entnommenen Stromes ermitteln zu können, verwendet man zwei Unterbau-Meßinstrumente mit einer 25-V-Skala und einer 6-A-Skala. Diese Dreheisen-Einbauinstrumente sind für Gleich- und Wechselstrom geeignet. Die Ausführung entspricht der Klasse 2,5, also einer Genauigkeit, die für unsere Zwecke vollkommen ausreicht. Der Aufbau und die Eigen-

schaften von Dreheisenmeßgeräten werden in Kapitel 19.2 ausführlich beschrieben.
Die schon erwähnten Umschalter S1 und S2 bringen beide Instrumente in die gewünschte Betriebsposition. Als Umschalter dienen zweipolige Kippumschalter mit Metallknebel. Mit Hilfe des auf S. 75 ff. beschriebenen Leitungsprüfers kann man die Funktion der Schalter genau feststellen. Mit dem Umschalter S1 wird das Voltmeter V bei Schalterstellung nach links an die Plus- und Minusklemme des Gleichrichters Gl gelegt. Man mißt also die am Gleichrichter vorhandene Gleichspannung. Der Umschalter S2, ebenfalls in linker Schalterstellung, schaltet das Amperemeter zwischen die Plusklemme des Gleichrichters Gl und die Polklemme Pol 3, und man mißt nach Anschluß eines Verbrauchers den entnommenen Gleichstrom. Der gleiche Vorgang wiederholt sich bei der Schalterstellung nach rechts. Die Gleichstromentnahme ist unterbrochen, und es können Strom und Spannung für Wechselstrom gemessen werden.
Vielleicht möchte der eine oder andere Praktiker ein Bauteil aus alten Beständen verwenden, um Kosten zu sparen. Wenn das Bauteil den Anforderungen entspricht, ist dagegen nichts einzuwenden. Meistens aber hat ein derartiges Bauteil andere Abmessungen, die dann mit der bereits gebohrten Front- oder Montageplatte nicht mehr übereinstimmen.
Die zweckmäßige Anordnung der Bauteile ist aus der Abb. 8, Tafel 6, zu ersehen. Unten links befindet sich die Einbausteckdose, in der Mitte das Sicherungseinbauelement und rechts davon der Druckknopf des Überstromschutzschalters. In der nächsten Reihe, oberhalb der Steckdose sind zwei Polklemmen angebracht, die zur Entnahme der Wechselspannung dienen. Über der Einbausicherung sieht man den Netzschalter und rechts davon wieder zwei Polklemmen zur Entnahme der Gleichspannung. Die Lage der Meßinstrumente ist deutlich zu erkennen: links das Amperemeter und rechts das Voltmeter. Unter den Instrumenten befindet sich jeweils der dazugehörende doppelpolige Kippumschalter und in der Mitte der Einstellknopf für den Stufenschalter. Die Einschaltanzeige liegt oben zwischen den beiden Instrumenten. Die vier Bohrungen in den Ecken der Frontplatte dienen zum Befestigen am Gehäuse.
Für die in der Stückliste aufgeführten Bauteile bohrt man die Frontplatte nach dem Bohrplan Abb. 28 (alle Maßangaben in Millimeter).

Beim Kauf einer Aluminiumplatte sollte man in erster Linie darauf achten, daß die Oberfläche nicht durch Kratzer usw. beschädigt ist. Aluminium ist, auch wenn es sich um eine harte Qualität handelt, ein weicher Werkstoff, aus dem Kratzspuren nur schwer durch Schmirgeln, Spachteln und Lackieren entfernt werden können.

Stückliste

1 Aluminium-Frontplatte 300 × 200 × 2 mm
1 Aluminium-Montageplatte 240 × 130 × 1,5 mm
1 Aluminium-Montageplatte 155 × 130 × 1,5 mm
2 Montagewinkel zur Befestigung des Selengleichrichters
1 Unterbauinstrument mit 25-V-Skala
1 Unterbauinstrument mit 6-A-Skala
1 Preh-Hochleistungs-Stufenschalter, 15 Arbeits- und 14 Leerkontakte
1 Herrmann-Selen-Gleichrichter, Brückenschaltung (Graetz), Spannung 25 V, Belastung 7,5 A, Plattenzahl 4
1 Netztransformator, Primärspannung 220 V Wechselspannung, Sekundärspannung 2,5, 4, 6, 8, 10, 12,6, 14, 16 , 18, 20, 24 V/6 A total, handelsüblich bei Fa. Radio-RIM, Trafobezeichnung »Volta II«
oder
1 Universal-Experimentiertransformator, Primär- und Sekundärspannung wie oben, Strombelastung 4 A, handelsüblich bei Trafo-Löwe-Elektronik, Trafobezeichnung »LH 13«
1 Einbaufassung für Glimmlampe Gewinde E 10
1 Zwergglimmlampe E 10/220 mit Schutzwiderstand
2 Zweipolige Kippumschalter mit Metallknebel und Einlochmontage
1 Zweipoliger Kippausschalter mit Metallknebel und Einlochmontage
1 Überstromschutzschalter für Einlochmontage 6 A
1 Feinsicherung 1,6 A mT, 5 × 20 mm
1 Wickmann-Sicherungshalter mit Kappe für Feinsicherungen 5 × 20
2 Polklemmen vollisoliert, gelb
2 Polklemmen vollisoliert, 1 × blau, 1 × rot
1 Europa-Einbau-Kaltgerätesteckdose
1 Kaltgerätenetzkabel
div. Kleinmaterial, Schraubenmuttern, Lötzinn, Schaltdraht blank 1 mm Ø, Schaltlitze 0,75 mm^2

Wer für mechanische Arbeiten ein besonderes Talent hat, dem wird das Anreißen der Frontplatte nach dem Bohrplan keine Schwierigkeiten bereiten. Wichtig ist, daß später die Anrißlinien nicht mehr sichtbar sind. Man muß sie also so klein machen, daß sie beim Bohren wieder verschwinden oder durch das Bauteil verdeckt werden. Wer sich unsi-

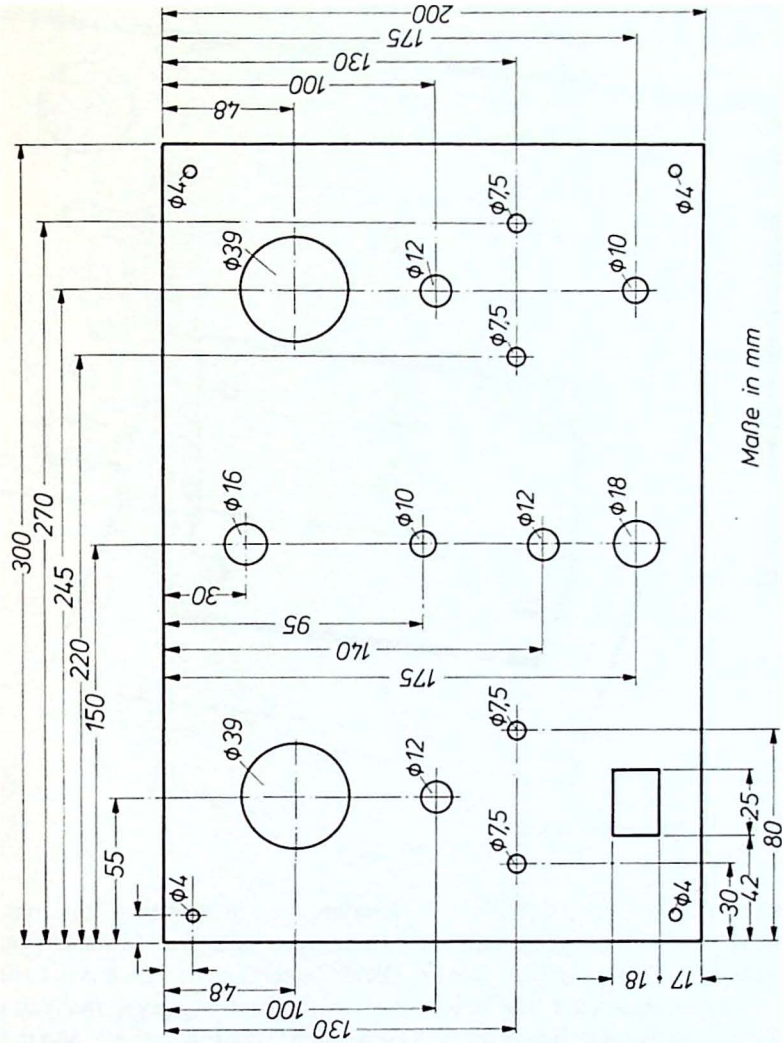


Abb. 28 Der Bohrplan zur Frontplatte

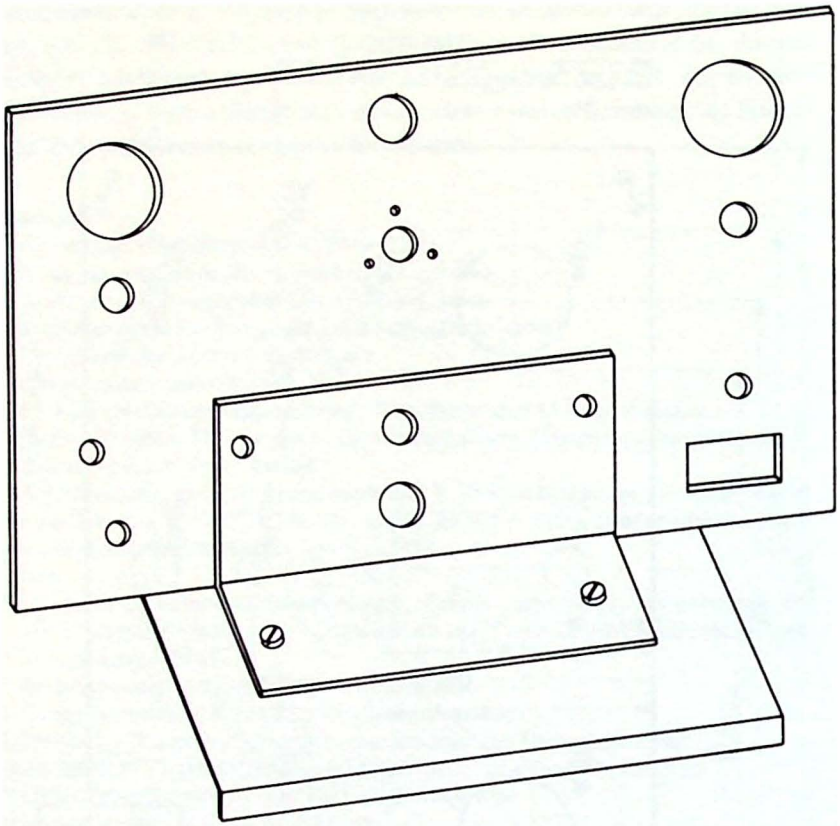


Abb. 29 Das Gesamtchassis

cher fühlt und derartige Arbeiten überhaupt noch nie ausgeführt hat, zeichnet die Frontplatte mit allen Bohrungen und Durchbrüchen im Maßstab 1:1 auf ein Blatt Papier. Diese Zeichnung legt man dann auf die Aluminiumplatte und drückt die Bohrungsmittelpunkte mit einer kleinen Reißnadel einfach durch. Das ergibt Markierungen, die man mit einem Körner nachschlagen kann. Vorsicht beim Bohren! Größere Löcher sollten unbedingt mit einem kleinen Bohrer vorgebohrt werden, damit die Seele des Spiralbohrers nicht verläuft. Spiritus eignet sich für Aluminium am besten als Schmiermittel. Größere Löcher etwa für die

Instrumente, Sicherungshalter und den Durchbruch für die Kaltgerätesteckdose sägt man mit der Laubsäge aus. Anschließend müssen Bohr- und Sägegrat mit einer Feile vorsichtig entfernt werden.
Der weitere Aufbau des Grundchassis ist nicht mehr schwer. Die Montageplatte 240 × 130 × 1,5 mm wird längsseitig abgewinkelt. Der abgewinkelte Schenkel soll nicht höher als etwa 10 mm sein. Die Montageplatte wird mit einem Winkel aus Alminiumblech 155 × 130 × 1,5 mm an der Frontplatte befestigt. Für die Befestigung auf der Frontplatte benützt man deren Bohrungen. Abb. 29 zeigt das für die Montage der Bauteile vorbereitete Gesamtchassis. Auch der Einbau der Bauteile und deren Verdrahtung bereitet keine Schwierigkeiten. Abb. 9, Tafel 6, läßt die Innenseite des Stromversorgungsgerätes erkennen. Rechts ist der Transformator und links der Selengleichrichter mit seinen Kühlplatten zu sehen. Die Verdrahtung wird nach dem in Abb. 23 dargestellten Schaltbild durchgeführt. Es ist zweckmäßig, jede verlegte Drahtverbindung im Schaltbild zu markieren, weil eventuelle Schaltfehler damit so gut wie ausgeschlossen werden.
Die Inbetriebnahme des Gerätes kann nach gründlicher Überprüfung der Verdrahtung anhand des Schaltbildes erfolgen. Dabei sollte man auch nochmals die Lötstellen auf ihre mechanische Festigkeit untersuchen. Die Verbindung mit der Netzspannung darf nur über eine vorschriftsmäßig angeschlossene Schukosteckdose erfolgen. Wenn nach Betätigung des Netzschalters die Glimmlampe aufleuchtet, ist das Gerät eingeschaltet.
Zunächst prüft man die Wechselspannung. Die Kippumschalter S1 und S2 schaltet man nach rechts und dreht den Stufenschalter langsam durch. Am Voltmeter zeigen sich die eingestellten Teilspannungen. In den unteren Bereichen ist der Spannungswert leider nicht ablesbar, weil ein deutlich sichtbarer Zeigerausschlag am Voltmeter erst bei etwa 5 V beginnt. Wesentlich teurere Instrumente haben diesen Nachteil nicht. Das Amperemeter zeigt bei dieser Prüfung keinen Ausschlag, weil ja kein Strom entnommen wird. Zur Gleichspannungsmessung schaltet man die Kippumschalter nach links und wiederholt den Meßvorgang. Die Spannungen, die bei der ersten Prüfung gemessen wurden, sind die sogenannten Leerlaufspannungen. Bei zulässiger Vollbelastung werden die Spannungen etwas kleiner; man mißt dann die belastete Spannung.
Vor dem praktischen Einsatz muß das Gerät natürlich mit einer Schutz-

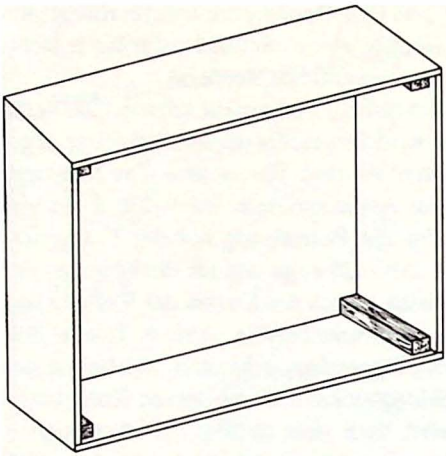


Abb. 30 Das Schutzgehäuse für das Stromversorgungsgerät

haube versehen werden. Die einfachste Lösung stellt ein Gehäuse aus etwa 8 . . . 10 mm starkem Sperrholz dar. Man fertigt zunächst entsprechend Abb. 30 einen Rahmen, in dessen vier Ecken man vier Hartholzleisten einklebt, die wesentlich zur Stabilität beitragen. Diese Leisten sollten etwas zurückstehen, damit eine Rückwand entsprechender Größe angebracht werden kann. Die vier Seitenteile sollen saubere, rechtwinkelige Schnittflächen haben; Zuschnitte entsprechender Größe liefert jeder Hobbyladen. Die Rückwand kann man entweder anschrauben oder – wie die Leisten – einkleben. Auf diese Weise erhält man eine stabile Holzkiste. Sie läßt sich nachträglich gründlich mit Sandpapier verschleifen oder – wenn man Wert auf ein besonders schönes Aussehen legt – mit Furnierholz oder Folie verkleiden; auch Anstreichen mit einer Holzbeize ist möglich.

12. Ein Ladegleichrichter

Ein transportabler Ladegleichrichter ist stets sehr praktisch. Der Bau ist nicht schwer, und ich werde zunächst mit dem mechanischen Teil beginnen. Aus dem Foto, Abb. 11, Tafel 7, geht das Wesentliche der Montage hervor. Alle Teile sind auf der Frontplatte montiert. Je übersichtlicher man die Teile anordnet, desto leichter ist die Verdrahtung durchzuführen. Man benötigt für den Ladegleichrichter folgendes Material:

1 Frontplatte 190 × 145 × 2 mm Pertinax
1 Netztransformator 220 V/2 × 6 V
1 Sicherungshalter mit Sicherung 1,5 A
1 Meßinstrument 100 mA
4 Apparateklemmen 2 × rot, 2 × schwarz
1 Drahtdrehregler 100 Ohm/25 Watt
1 Drahtdrehregler 2 kOhm/2,5 Watt
1 Selengleichrichter 25 V/5 A Graetz-Schaltung
1 Umschalter 2 × 1polig
1 Umschalter 2 × 2polig
2 Drehknöpfe
2 Meter Netzkabel mit Stecker und div. Kleinmaterial
Gehäuse
1 Bodenplatte 150 × 190 × 4 mm
2 Seitenteile 180 × 100 × 4 mm
1 Seitenteil 145 × 100 × 4 mm
1 Seitenteil 145 × 60 × 4 mm
1 Kabeldurchführung
4 Gummifüße

Die Frontplatte darf nicht zu dünn sein, da sie alle Teile tragen und trotzdem stabil bleiben soll. Die Bearbeitung der Platte ist einfach; Pertinax läßt sich leicht bohren und sägen. Das Anzeichnen der Löcher erfolgt mit Bleistift. Die Bohrungen führt man durch, wenn man sich von der richtigen Lage der Bauteile überzeugt hat.
Das Schaltbild Abb. 31 zeigt die elektrische Wirkungsweise. Die Netzspannung führt man mit einem Schukostecker über ein dreipoliges Gummikabel zu. In der Leitung liegt eine Sicherung, damit bei einem evtl.

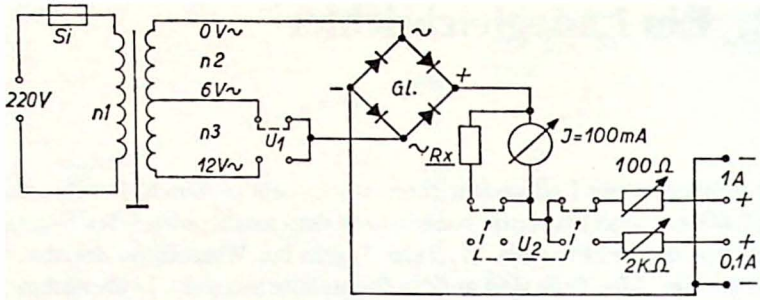


Abb. 31 Schaltbild des Ladegleichrichters

Kurzschluß nichts passieren kann. Als Transformator kann man einen handelsüblichen Typ nehmen. Für den, der Kenntnisse in der Transformatorenfertigung besitzt, zum Selbstbau nachstehende Angaben:

handelsüblicher Kern M 65 mit Spule		
Primärwicklung	n 1	2200 Wdg. CuL 0,3
Sekundärwicklung	n 2	70 Wdg. CuL 0,7
dto	n 3	70 Wdg. CuL 0,7

Die Niederspannung wird mit dem einpoligen Umschalter U1 an den Selengleichrichter Gl geschaltet. Wegen der Reihenschaltung der beiden Wicklungen 2 und 3 kann man zwei verschiedene Spannungen (6 und 12 V) entnehmen. Der Pluspol des Gleichrichters wird wahlweise über den doppelpoligen Umschalter U2 an die Regelwiderstände 100 Ω und 2 kΩ gelegt. Die Ladestromstärke kann für beide Stromkreise an dem 100-mA-Meßinstrument abgelesen werden. Mit dem Umschalter U2 wird in Stellung 100 Ω (entsprechend einem Ladestrom von 1 A) gleichzeitig ein Widerstand R_x dem Instrument parallel geschaltet. Diesen Widerstand kann man, wie unten beschrieben wird, selbst herstellen.
Nach den Regelwiderständen wird die Spannung an die Ausgangsklemmen geführt. Wenn verschiedenfarbige Ausgangsklemmen vorhanden

sind, hat man eine leichte Unterscheidungsmöglichkeit zwischen der Polarität der Spannung. Zur Verdrahtung verwendet man 1,2 . . . 1,5 mm starken, isolierten Schaltdraht; wenn alle Montagearbeiten und die Schaltung fertiggestellt sind, wird das Gerät nochmals genau überprüft.

Die Inbetriebnahme ist recht einfach. Der Umschalter U2 wird in Stellung 100 mA geschaltet; ein Vergleichsinstrument legt man mit dem eingebauten Meßinstrument in Reihe. Ist der Netzstecker angeschlossen, dann dreht man den Regler 2 kΩ vorsichtig bis zum Endausschlag. Der sich einstellende Strom muß mit dem des Vergleichsinstrumentes annähernd übereinstimmen. Der Strom 100 mA ist somit in Ordnung. Dann schaltet man das Gerät vorübergehend ab und legt den Umschalter auf Stellung 100 Ω (Stromkreis 1 A). Zur Fertigung des Widerstandes R_x nimmt man ein Stück lackisolierten Kupferdraht 0,4 . . . 0,5 mm ∅, etwa 300 mm lang. Diesen Kupferdraht schaltet man dem 100-mA-Instrument parallel. Dann wird der Vorgang wie beim Regler 2 kΩ wiederholt. Wenn das Vergleichsinstrument 1 A anzeigt, hört man mit dem Regeln auf und liest den Wert am 100-mA-Instrument ab. Ist der Zeiger noch nicht auf dem Endausschlag, dann verkürzt man den Kupferdraht so lange, bis der Endausschlag erreicht ist. Wichtig dabei ist, daß jedesmal das Gerät abgeschaltet wird, weil man sonst das Instrument zerstört. Ist die genaue Länge des Drahtes endgültig ermittelt, dann wickelt man ihn auf ein Stückchen Isolierrohr, wobei Anfang und Ende mit Bindfaden oder Klebstoff zu fixieren sind. Wie das Schaltbild zeigt, wird dieser Widerstand mit dem Umschalter U2 in Verbindung gebracht. Nunmehr ist das Gerät fertig. Ein kleines Schutzgehäuse aus Holz (die Abmessungen der Brettchen ergeben sich aus der Stückliste) ist unbedingt erforderlich. Wer über ein passendes Blechgehäuse verfügt, kann natürlich auch dieses verwenden. Das Blechgehäuse muß mit dem Schutzleiterkontakt der Schukosteckdose in Verbindung gebracht werden.

Abb. 10, Tafel 7, zeigt den fertigen Ladegleichrichter. Man kann mit diesem Gleichrichter z. B. Klein- und Kleinstakkumulatoren, wie sie in Transistorradios enthalten sind, aufladen. Auch größere Batterien, ja selbst Autobatterien lassen sich nachladen. Das Laden dauert bei großen Batterien natürlich etwas länger, weil die Stromabgabe des Ladegerätes begrenzt ist.

13. Widerstände und elektrische Wärme

13.1 Was Widerstände sind

Sie wissen, daß sich nach dem Ohmschen Gesetz die Stärke eines Stromes beliebig ändern läßt. Man muß dazu nur den Widerstand des Stromkreises, in dem der Strom fließt, herabsetzen oder erhöhen. Von dieser Möglichkeit macht der Elektrotechniker nicht nur zu Wärmezwecken Gebrauch, sondern beispielsweise auch dann, wenn er Geräte, die nur geringe Stromstärken vertragen, an Stromquellen mit großer Spannung anschließen will oder wenn etwa ein Motor wahlweise mit schwächeren und stärkeren Strömen betrieben werden soll. Er braucht dazu nur den Widerstand des fraglichen Leitungskreises veränderlich zu machen.

Widerstände üben in dem riesengroßen Gebiet der Elektrotechnik wichtige Funktionen aus. Nach ihrer Ausführungsform ordnet man sie in drei große Gruppen ein: Drahtwiderstände, Massewiderstände und Schichtwiderstände. Darüber hinaus unterscheidet man noch zwischen Festwiderständen und einstellbaren Widerständen.

Wer viel bastelt und experimentiert, wird mitunter vor die Aufgabe gestellt, sich einen Widerstand bestimmter Ohmzahl selbst zu fertigen. Da es sich hierbei meistens um einen Drahtwiderstand handelt, soll diese Art von Widerständen ausführlich besprochen werden.

Bekanntlich hängt der Widerstand eines Drahtes von seiner Länge, seiner Dicke und dem Material, aus dem er besteht, ab. Auch die Temperatur, der der Leitungswiderstand ausgesetzt ist, spielt eine wichtige Rolle. So ändert z. B. Eisendraht seinen Widerstand mit jedem Grad Celsius um ½ Prozent, Kupfer um ⅓ Prozent, Quecksilber um 1/10 Prozent. Die Legierungen Konstantan, Manganin, Nickelin dagegen sind besonders temperaturfest. Ihr Widerstand ändert sich je Grad Celsius um weniger als 1/1000 Prozent, also praktisch überhaupt nicht. Es leuchtet ein, daß man diese Materialien zum Bau von Widerständen aller Art bevorzugt verwendet.

Jedes Metall hat einen spezifischen Leitungswiderstand. Für die in der Elektrotechnik gebräuchlichen Metalle hat man die entsprechenden

Abb. 10: Außenansicht des Ladegerätes

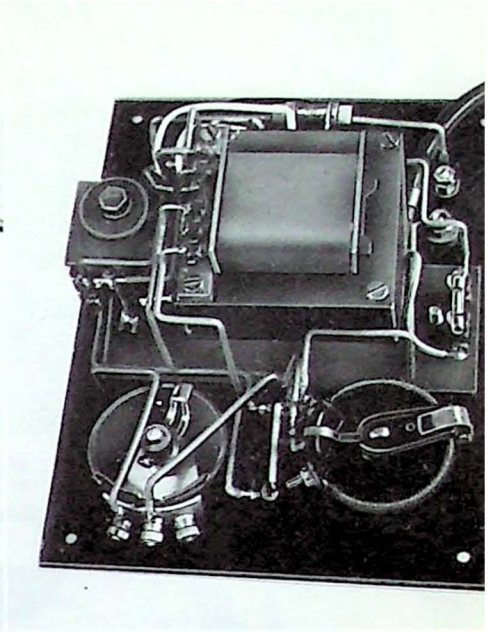
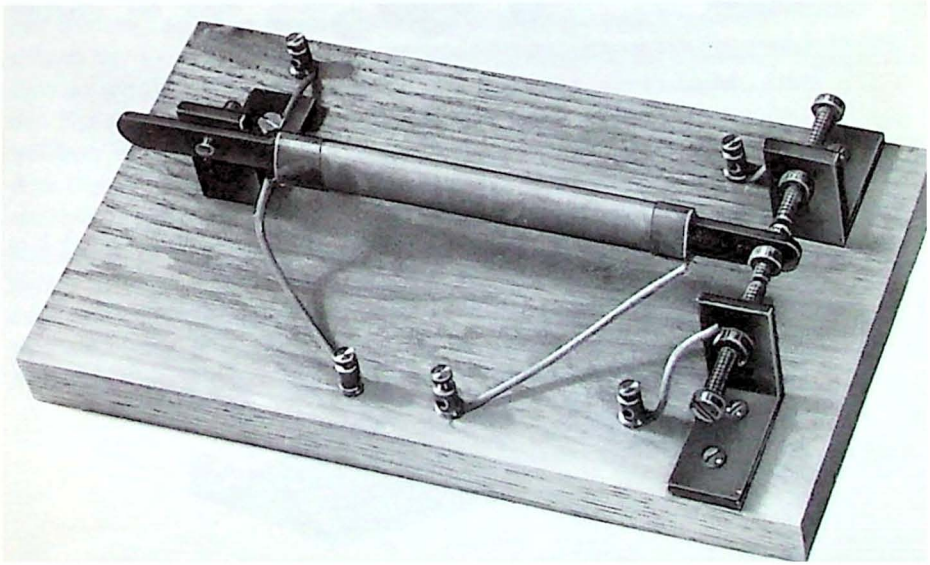


Abb. 11: Innenansicht des Ladegerätes

Tafel 7

Abb. 12: Der Thermoschalter



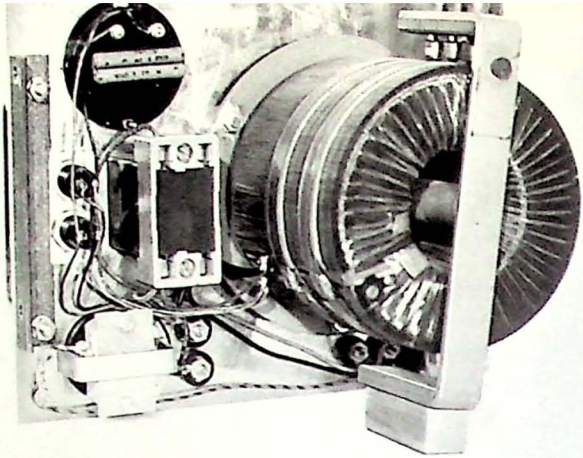


Abb. 13: Der Netzspannungsregler (Innenansicht)

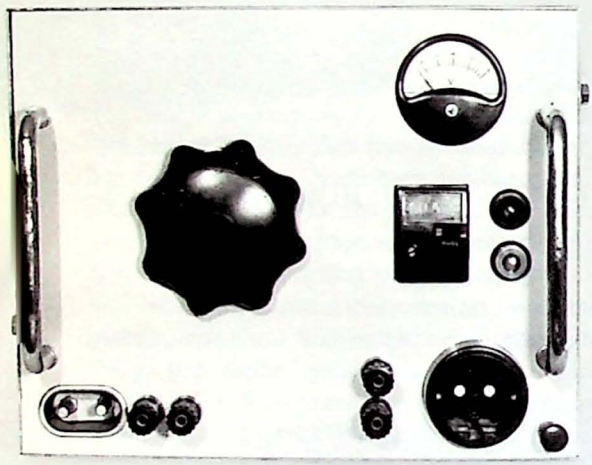


Abb. 14: Der Netzspannungsregler (Außenansicht)

Tafel 8

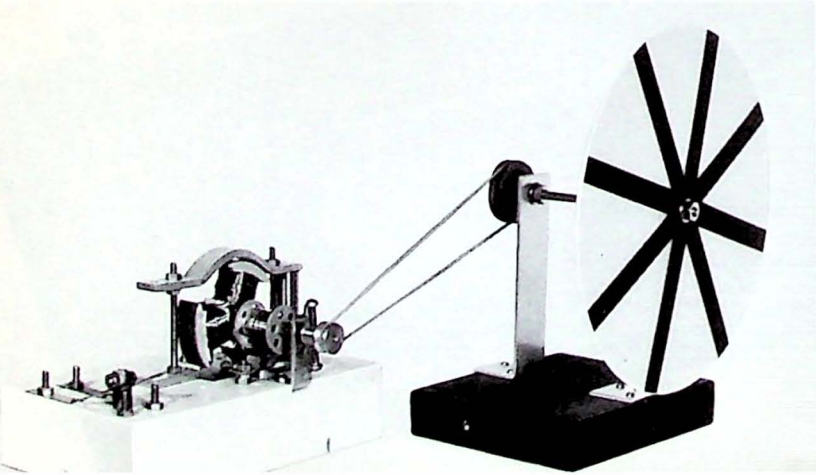


Abb. 15: Die Stroboskopscheibe mit einem selbstgebauten Elektromotor mit Dauermagnet

Zahlen berechnet. Sie beziehen sich auf Drähte von 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt, deren Widerstand man als den »spezifischen Widerstand« des betreffenden Metalls bezeichnet. In der folgenden Tabelle haben wir die spezifischen Widerstände der wichtigsten Metalle zusammengestellt.

Tabelle der spezifischen Widerstände einiger Metalle

Metall	Widerstand eines Drahtes von 1m Länge und 1 mm^2 Querschnitt bei 15° C in Ohm	Metall	Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt bei 15° C in Ohm
Kupfer	0,016	Nickel	0,13
Aluminium	0,03	Blei	0,21
Messing	0,07	Neusilber	0,2 −0,3
Platin	0,09	Nickelin	0,33−0,45
Eisen	0,11	Quecksilber	0,94

Mit Hilfe dieser Tabelle kann man den Widerstand beliebig langer und beliebig dicker Drähte der darin genannten Metalle berechnen; man braucht dazu nur die Drahtlänge (in Meter) mit dem spezifischen Widerstand zu multiplizieren und das Produkt durch den Drahtquerschnitt (in Quadratmillimeter) zu teilen. Will man beispielsweise wissen, wie groß der Widerstand eines Eisendrahtes von 6 m Länge und 3 mm^2 Querschnitt ist, so muß man 6 mit 0,11 (dem spezifischen Widerstand des Eisens) multiplizieren und dann durch 3 dividieren, um zu finden, daß der Draht einen Widerstand von 0,22 Ohm besitzt. Will man wissen, welchen Widerstand ein 2 m langer Bleidraht von ⅓ mm^2 Querschnitt dem Strom bietet, so hat man $2 \times 0{,}21 = 0{,}42$ durch ⅓ zu dividieren, also mit 5 zu multiplizieren, um als Ergebnis 2,10 Ohm zu erhalten.
Die Tabelle verrät aber auch, daß es unpraktisch wäre, Widerstände aus einem Material mit niederem spezifischen Widerstand, etwa aus Kupfer oder Aluminium, herzustellen, weil man dann große Drahtlängen verwenden müßte, um hohe Widerstände zu erhalten. Wollte man einen Widerstand mit 5 Spiralen von je 5 Ohm aus Aluminiumdrähten von 1 mm^2

Querschnitt anfertigen, so müßte man für jede Spule $\frac{5}{0{,}03} = 166\,\text{m}$ Aluminiumdraht verwenden, ein etwas teueres Vergnügen, abgesehen von dem Raum, den diese Drahtmenge einnimmt. Metalle mit so niedrigem spezifischen Widerstand wie Kupfer, Aluminium, Messing, die sog. guten Leiter, verwendet man also zum Widerstandsbau nicht. Man wählt vielmehr recht schlechte Leiter aus, um mit möglichst geringen Drahtlängen auszukommen. Am schlechtesten leitet nach der Tabelle das Quecksilber, dennoch benutzt man es im allgemeinen nicht, da man mit flüssigem Metall nicht gut arbeiten kann. Am nächsten steht ihm in der Tabelle das Nickelin, eine Legierung aus Kupfer, Zink und Nickel, die für Widerstandszwecke besonders angefertigt wird. Die Tabelle gibt für Nickelin zwei Widerstandswerte an. Das hängt damit zusammen, daß die Zusammensetzung der Legierung ziemlich stark wechselt. Im allgemeinen wird man die höhere Ziffer annehmen können. Nickelindraht ist bequem zu verarbeiten und auch nicht besonders teuer, eignet sich also für unsere Zwecke ausgezeichnet. Man stellt also die Widerstände aus Nickelindrähten oder auch aus Konstantan und Chromnickel her.

Es ist natürlich nicht nötig, Nickelindraht von 1 mm^2 Querschnitt für die Widerstände zu verwenden. 1 m dieser Drahtstärke hat ja nur 0,45 Ohm Widerstand, so daß man für 5 Ohm schon über 11 m brauchen würde. Das ist eine ziemlich große Menge, die stark verringert werden kann, wenn man dünneren Draht wählt. Nimmt man z. B. Nickelindraht von 0,1 mm^2 Querschnitt, so braucht man für 5 Ohm nur wenig über 1m, denn 1m Nickelindraht dieser Stärke hat einen Widerstand von $\frac{1 \times 0{,}45}{1/10} = 4{,}5$ Ohm. Bei der Verwendung dünner Drähte muß allerdings darauf geachtet werden, daß man den Widerstand nicht mit zu starken Strömen belastet, da die Drähte sonst durch die entstehende Wärme schmelzen. Im allgemeinen darf eine *freie* Drahtspirale höchstens so warm werden, daß sie zischt, wenn man sie mit dem feuchten Finger berührt. Auf feste Unterlagen gewickelte Drähte lassen sich etwas stärker beanspruchen. Feste Unterlagen sollte man besonders bei feinen Drähten stets verwenden, da sie, wenn sie frei hängen, bei der Erwärmung ihre Form stark ändern, was zu Kurzschlüssen führen kann. Nie darf ein Widerstandsdraht so stark belastet werden, daß er rotglü-

hend wird, denn das ist ein Zeichen, daß er dicht vor dem Durchschmelzen steht. Der Strom ist dann sofort zu unterbrechen.
Die folgende Tabelle stellt die für die Anfertigung von Nickelin-Widerständen nötigen Angaben zusammen. Sie enthält neben dem Drahtquerschnitt und dem zugehörigen Widerstand für 1 m Drahtlänge den Drahtdurchmesser, das Drahtgewicht pro Meter und die zulässige Dauerbelastung sowie die Höchstbelastung in Ampere. Außerdem ist noch angegeben, bei welcher Drahtlänge die entsprechende Drahtstärke genau 1 Ohm Widerstand hat. Mit Hilfe dieser Tabelle lassen sich Widerstände beliebiger Größe schnell und bequem berechnen.

Tabelle zur Anfertigung von Nickelindrahtwiderständen

Querschnitt in mm^2	Durchmesser in mm	Widerstand pro 1 m in Ohm	Länge pro 1 Ohm in m	Gewicht pro 1 m in g	Zulässige Dauerbelastung in Amp.	Höchstbelastung in Ampere
0,007	0,10	57,0	0,017	0,06	0,1	0,3
0,03	0,20	14,3	0,068	0,28	0,3	0,9
0,07	0,30	6,3	0,16	0,61	0,6	1,8
0,12	0,40	3,3	0,30	1,09	0,9	2,7
0,19	0,50	2,3	0,44	1,71	1,2	3,6
0,28	0,60	1,6	0,63	2,42	1,6	4,8
0,38	0,70	1,17	0,86	3,30	2,0	6,0
0,50	0,80	0,89	1,12	4,33	2,5	7,5
0,62	0,90	0,71	1,41	5,5	3,0	9,5
0,78	1,00	0,57	1,75	6,82	3,5	10,5
3,14	2,00	0,14	7,7	18,00	10,0	30,0

Für Drahtwiderstände verwendet man als Träger wärmebeständiges Isoliermaterial, z. B. Keramikrohre, Glasrohre, Hartgewebe, Thermoplast und Duroplast. Die Auswahl des Widerstandsdrahtes erfolgt nach den geforderten Eigenschaften. Für hochbelastbare Widerstandselemente verwendet man Heißleiterlegierungen wie z. B. Chromnickel, während Edelmetallegierungen Präzisions-Drahtwiderständen vorbehalten blei-

ben. Häufig umgibt man die Drahtwicklungen zusätzlich mit einer Isolierschicht, die in einem Härteofen eingebrannt wird. Diese Schicht ist dann hart wie Glas und bietet der Drahtwicklung besten Schutz vor Feuchtigkeit, Staub usw. Drahtwiderstände werden vorzugsweise in Gleichstrom- und Wechselstromschaltungen niederer Frequenz angewendet. Für Hochfrequenzschaltungen dagegen eignen sie sich nicht.
Bei den Massewiderständen besteht das Widerstandselement aus härtbaren Massen, die mit Kohle oder Graphit gemischt sind. Unter starkem Preßdruck wird diese Masse zu einem kleinen zylindrischen Körper geformt, wobei gleichzeitig die Anschlußdrähte mit eingebettet werden. Das einfache Herstellungsverfahren und große Stückzahlen erlauben einen billigen Preis, so daß diese Widerstände hauptsächlich in Geräten der Konsumgüterindustrie vorzufinden sind.
Schichtwiderstände haben einen keramischen Trägerkörper, auf den eine kristallförmige und schlecht leitende Schicht aus Kohle, Metall oder Spezial-Oxiden aufgebracht ist. Die Schichtdicke bestimmt zum großen Teil den Widerstandswert, dessen Endwert durch Einschleifen einer schraubenförmigen Wendel auf höchste Genauigkeit gebracht wird. Die Enden des Widerstandskörpers werden mit aufgepreßten Metallkappen versehen, an die Anschlußdrähte geschweißt sind. Zum Schutz gegen äußere Einflüsse werden die Widerstände mit einem härtbaren Schutzlack versehen. Speziell die Kohleschichtwiderstände stehen im Verbrauch an erster Stelle. Sie sind in Geräten der Elektronik, Rundfunktechnik und sonstigen HF-Geräten in allen Variationen und Ohmwerten zu finden.
Im Gegensatz zu Festwiderständen, die je einen Anschluß am Anfang und am Ende der Widerstandsschicht haben, besitzen einstellbare Widerstände einen über die ganze Länge der Widerstandsschicht beweglichen Schleifkontakt. Dieser Kontakt tastet sowohl Draht- als auch Schichtwiderstände in ihrer ganzen Länge ab und führt den abgegriffenen Wert einem dritten Anschluß zu. Festwiderstände sind durch isolierende Deckschichten gegen äußere Einflüsse geschützt. Bei einstellbaren Widerständen dagegen ist die Widerstandsschicht frei, damit der Schleifer ungehindert über die Schicht gleiten kann. Das setzt die Anpassung von Trägerwerkstoffen und Widerstandsmaterial an die verschiedenen Erfordernisse voraus. Regelbare Widerstände gehören zur Gruppe der hochbelastbaren Potentiometer, Kleinpotentiometer, Ein-

stellregler, Trimmerwiderstände und Schieberegler. Der junge Praktiker mag anfänglich von der Vielzahl der Bauformen verwirrt sein; mit zunehmender Praxis wird er sich bald einen umfassenden Überblick über die Widerstände aneignen.

Zum Abschluß dieses Abschnittes weisen wir noch auf die Kennzeichnung des Widerstandswertes hin.

Früher las man den aufgedruckten Widerstandswert in Ohm einfach ab. Die Widerstände mußten daher so in die Schaltung eingelötet werden, daß das Ablesen auch möglich war. Das war jedoch für die industrielle Fertigung von Rundfunk- und Fernsehgeräten unrationell. Deshalb kennzeichnet man die Widerstände heute mit farbigen Punkten oder Ringen, die die Werte verschlüsselt enthalten. Diesen auch für Kondensatoren gültigen internationalen Farbcode bringen wir nachstehend:

Farbe	1. u. 2. Punkt	3. Punkt	4. Punkt
	1. u. 2. Ziffer	Zahl der Nullen	Toleranz in %
schwarz	0	0	–
braun	1	1	1
rot	2	2	2
orange	3	3	3
gelb	4	4	4
grün	5	5	5
blau	6	6	6
violett	7	7	7
grau	8	8	8
weiß	9	9	9
gold		×0,1	5
silber		×0,01	10
ohne Farbe			20

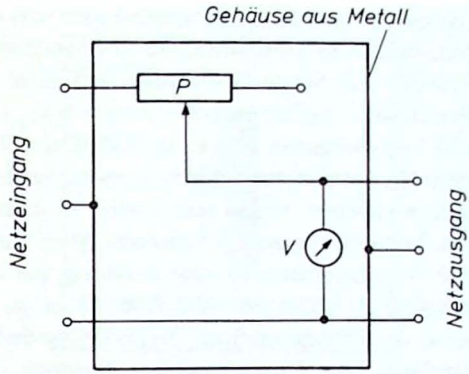
Widerstände weisen immer vier farbige Punkte oder Ringe auf. Ein Beispiel zur Entschlüsselung des Kodes: 1. Ring oder Punkt rot, 2. Ring oder Punkt violett, 3. Ring oder Punkt schwarz, 4. Ring oder Punkt vio-

lett. Das bedeutet, daß der Widerstand einen Wert von 27 Ω bei einer Toleranz von 7 % aufweist.
Beim Studium einer Schaltung wird dem jungen Praktiker auffallen, daß Widerstände in den meisten Fällen keine runden Ohmwerte aufweisen. Man findet z. B. Widerstände mit 27, 39, 56 oder 82 Ohm usw. Die Ursache hierfür liegt in den Toleranzwerten. Die Hersteller von Widerständen haben sich international darauf geeinigt, den Bereich von 10 . . . 100 Ohm in 12 Teilbereiche zu zerlegen. Der jeweilige Mittelwert eines Teilbereiches überlappt sich nach unten oder nach oben mit dem Toleranzwert des benachbarten Teilbereiches. Ein Widerstand mit 82 Ohm z. B. hat bei einer Toleranz von ± 10 % den Bereich von 73,8 Ohm bis 90,2 Ohm; er findet damit im oberen Bereich Anschluß an den Toleranzbereich eines 100-Ohm-Widerstandes, der von 90 Ohm bis 110 Ohm reicht. Nach unten überlappt er den Toleranzwert eines 68-Ohm-Widerstandes, dessen Teilbereich von 61,2 Ohm bis 74,8 Ohm reicht. Auf diese Weise entstehen die ungeraden Widerstandswerte, die mit der IEC-Norm (International Electrotechnical Commission) festgelegt wurden.

13.2 Ein Netzspannungsregler

Für den jungen Elektropraktiker ist es eine reizvolle Aufgabe, den Verlauf der Netzspannung über eine Reihe von Tagen hinweg zu beobachten. Nur durch Messungen mit einem geeigneten Instrument kann man Aufschluß darüber erhalten, ob die Netzspannung konstant zu jeder Stunde des Tages 220 Volt beträgt. Der Besitzer eines Vielfachinstrumentes oder auch nur eines einfachen Wechselspannungsvoltmeters mit dem Meßbereich von 0–250 V wird mit diesem Versuch angeregt, sein Meßgerät sinnvoll einzusetzen. Aus den abgelesenen Spannungswerten und der entsprechenden Uhrzeit kann aus mehreren Meßwerten eine Kurve erstellt werden, die die Schwankungen der Netzspannung aufzeigt. Im Bereich der Großstädte können diese Schwankungen vom Sollwert 220 V bis zu 5 % nach oben und unten betragen. Das ist erträglich, weil die angeschlossenen Verbraucher die unterschiedlichen Spannungswerte ohne merkbare Beeinträchtigung verarbeiten. In ländlichen Wohngebieten jedoch können, besonders in Zeiten von Spitzenbela-

Abb. 32 Überspannungsregler



stungen, Schwankungen bis zu 10 % und mehr auftreten. Größere, länger andauernde Schwankungen nach oben, also sogenannte Überspannungen, sollten vermieden werden, weil die Lebenszeit der Verbraucher, z. B. Glühlampen, Rundfunkgeräte, Fernsehempfänger etc. darunter leidet. Mit einer recht einfachen Vorrichtung können diese Überspannungen beseitigt werden. Man muß dazu nur einen veränderlichen Vorwiderstand zwischen Leitungsnetz und Verbraucher schalten. Für die Kontrolle der geregelten Verbraucherspannung genügt ein billiges Einbauinstrument.

Abb. 32 zeigt die recht einfache Schaltung. Der veränderliche Vorwiderstand besteht aus einem leistungsstarken Potentiometer P mit dem Wert 500 Ω/100 W. Derartige Potentiometer werden von Zeit zu Zeit als Sonderangebote von den Fachhändlern (siehe Bezugsquellen-Verzeichnis) vertrieben und sind nicht allzu teuer. Der Wickelkörper dieser Potentiometer besteht aus Porzellan und verträgt ohne weiteres eine größere Erwärmung. Da die Drehachse vom Schleifer isoliert ist, besteht bei der Einstellung keine Gefahr. Diese Schaltungseinheit sollte grundsätzlich in Metallgehäuse eingebaut werden, weil nur damit eine einwandfreie Schutzerdung erreicht wird. Netzunterspannungen richten bei den angeschlossenen Verbrauchern keinen Schaden an, weil diese gar nicht auf ihre volle Leistung kommen können. Sie machen sich aber unliebsam bemerkbar, weil beispielsweise die Glühlampen merklich dunkler brennen oder der Fernseh- und Rundfunkempfang nicht mehr einwandfrei ist.

Man kann auch Netzunterspannungen wirksam begegnen, und zwar mit Vorschalttransformatoren, die in Sparschaltung ausgeführt sind, d. h., Primär- und Sekundärwicklung sind nicht voneinander getrennt. Die Primärspule besitzt mehrere Anschlüsse, die ober- und unterhalb des 220-Volt-Bereiches liegen, so daß dieser Transformator als *Aufwärts-* und *Abwärts*transformator verwendet werden kann. Je mehr Anzapfungen er aufweist, um so universeller ist seine Verwendungsmöglichkeit. Bei Verwendung eines Eisenkerns M 85 kann der Transformator bis zu 150 W belastet werden, eine Leistung, die vollauf genügt, um ein Fernsehgerät zu betreiben. Wie Abb. 33 zeigt, ist die Schaltung recht einfach; der Einbau muß aus Sicherheitsgründen in einem Metallgehäuse erfolgen. Der Transformator mit seinen verschiedenen Anzapfungen wird mit dem Stufenschalter, dessen Drehachse isoliert sein muß, an das Netz geschaltet. Die Ausgangsspannung, deren Überwachung mit dem Einbauvoltmeter erfolgt, wird in der Anzapfung 220 V gewonnen.

Die idealste Spannungsregelung – stufenlos von 0 . . . 240 V – erfolgt mit Ringkern-Stelltransformatoren. Der Eisenkern besteht aus kreisrunden, zu einem Paket geschichteten Ringen. Die Drehwicklung ist ähnlich wie bei einem Drehpotentiometer aufgebracht; die Spannung nimmt man mit einem Schleifbügel ab. Da die Wicklung in Gießharz eingebettet ist, wird die Erwärmung gut abgeleitet und ausreichender Schutz vor mechanischer Beschädigung erreicht. Die Befestigung macht keine Schwierigkeiten; die Drehachse ist verstellbar und erlaubt eine Bedienung von zwei Seiten. Der Schleifer ist mit einer besonderen Hartkohle

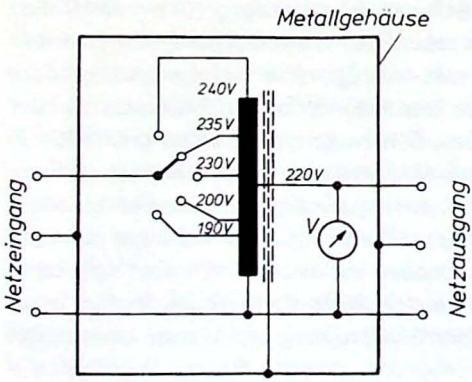
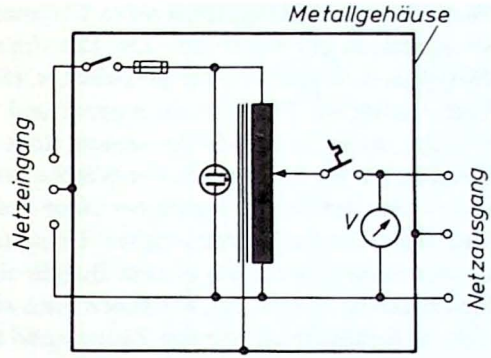


Abb. 33 Spannungsregler mit Spartrafo

Abb. 34 Ein Spannungsregler mit Stelltransformator



ausgerüstet, wodurch ein niederohmiger Übergang zur Kontaktbahn der Wicklung hergestellt wird. Der Stelltransformator ist nicht gerade billig; die hohe Betriebssicherheit und die leichte praktische Handhabung rechtfertigen jedoch den Preis. Der in Abb. 34 gezeigte Spannungsregler bedient sich des Typs Philips St 01407, 220 V. Sein Nennstrom beträgt 0,7 A, der Regelbereich liegt bei 0 . . . 240 V. Die Abb. 13 und 14, Tafel 8 zeigen ein Aufbaubeispiel für den Spannungsregler.

13.3 Ein Thermoschalter

Alle Körper dehnen sich bei Erwärmung aus. Die Ausdehnung ist bei allen Stoffen verschieden stark. Diese Tatsache macht man sich in den elektrischen »Thermoschaltern« zunutze. Das zur Erwärmung kommende Metall heißt Bimetall. Man versteht darunter die feste mechanische Verbindung zweier Bleche aus verschiedenen Metallen mit weit voneinander abweichenden Ausdehnungswerten. Die Metallbleche sind in ihrer ganzen Länge fest miteinander verbunden. In den meisten Fällen geschieht dies durch Zusammenwalzen unter sehr starkem Druck. Erwärmt man nun die beiden Bleche, dann wird sich der aus ihnen gebildete Doppelstreifen nach *der* Seite biegen, auf der sich das Metall mit dem kleineren Ausdehnungswert befindet. Entfernt man die Wärmequelle, dann biegt sich der Streifen wieder in seine ursprüngliche Lage zurück. Nützt man diese Bewegung des Metalles zum Schließen und Öffnen von Kontakten aus, so liegt ein Thermoschalter vor.

Wozu braucht man eigentlich einen Thermoschalter? Sehen Sie sich beispielsweise in der Küche um. Die Hausfrau plättet gerade Wäsche. Im Plätteisen befindet sich ein elektrischer Heizdraht, der die Sohle des Eisens erwärmt. Es wird nun wärmer und wärmer und käme gar zum Glühen, wenn sich nicht in seinem Inneren etwas Geheimnisvolles befände, das ein Verbrennen der Wäsche verhindert. Dieses Geheimnisvolle – das den Strom immer bei einer bestimmten Höchsttemperatur abschaltet – ist ein Thermoschalter. Er ist so eingestellt, daß das Plätteisen nur so heiß wird, wie es zum Bügeln eben notwendig ist. In einem Heizkissen ist es genauso. Sie haben auch sicher schon beobachtet, daß sich ein Kühlschrank, wie von Zauberhand berührt, selbsttätig einschaltet. Hier wurde es plötzlich einem Thermoschalter zu warm, und er hat den die Kühlung erzeugenden Mechanismus eingeschaltet. Man sieht also, der Thermoschalter – ein technisches Heinzelmännchen – ist überall vertreten. Nachdem Sie sich mit der grundsätzlichen Wirkungsweise vertraut gemacht haben, werden Sie sehen, mit welch einfachen Mitteln Sie einen solchen herstellen können.

Benötigt werden:
1 Sperrholzbrett 230 × 130 × 20 mm
1 Eisenblech 200 × 14 × 1 mm
1 Alublech 200 × 14 × 1 mm
1 Meter Konstantandraht 0,5 mm Ø seideisoliert oder oxidiert
5 Apparateklemmen
div. Kleinmaterial (Nieten, Ölpapier, Schrauben usw.).

Das Brettchen 230 × 130 × 20 mm dient als Grundplatte. Als Bimetall finden die zwei Metallstreifen aus Eisen und Aluminium Verwendung. Da sich Aluminium nicht ohne weiteres löten läßt, werden die Streifen mit Nieten fest aneinandergefügt. Je mehr Nieten man zur Befestigung

Abb. 35 Reihenfolge der Bohrungen für die Nieten

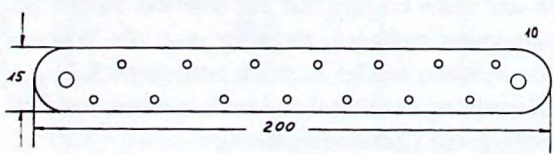
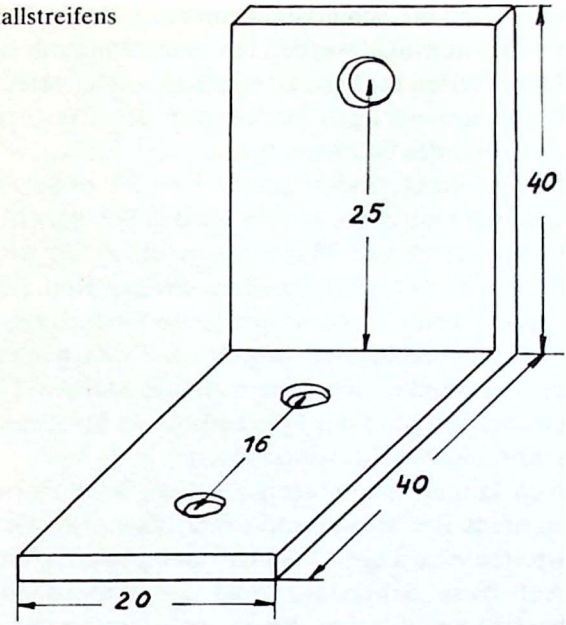


Abb. 36 Befestigung des Metallstreifens



verwendet, desto inniger wird die Verbindung, und desto besser arbeitet der Thermoschalter. Man verwendet Rundkopfnieten aus Kupfer oder Eisen mit etwa 3 mm Stärke. In Abb. 35 ist die Reihenfolge der Bohrungen für die Nieten dargestellt. Die beiden größeren Löcher haben 5 mm Durchmesser. Alle übrigen Löcher sind 3 mm groß. Die beiden Streifen werden am besten miteinander verbohrt, da sie genau aufeinander passen müssen. Man bohrt deshalb in beide Streifen zunächst die größeren Löcher, und schraubt dann die Streifen mit je einer 5-mm-Gewindeschraube zusammen. Auf diese Weise sind beide Streifen unverrückbar verbunden, und man kann mit den übrigen Bohrungen beginnen.

Zum Festnieten verwendet man einen mittelschweren Hammer und eine harte Auflage. Der Metallstreifen wird in einem Winkel nach Abb. 36 befestigt. Man fertigt gleich drei Winkel an, da man später für die Kontaktschrauben ebenfalls zwei Winkel gleicher Größe und mit den gleichen Bohrungen braucht. Die Winkel können aus Eisen oder Aluminium bestehen. Es läßt sich auch fertiges Winkelprofil verwenden; Sie brauchen davon nur drei entsprechende Stücke mit der Metallsäge abzu-

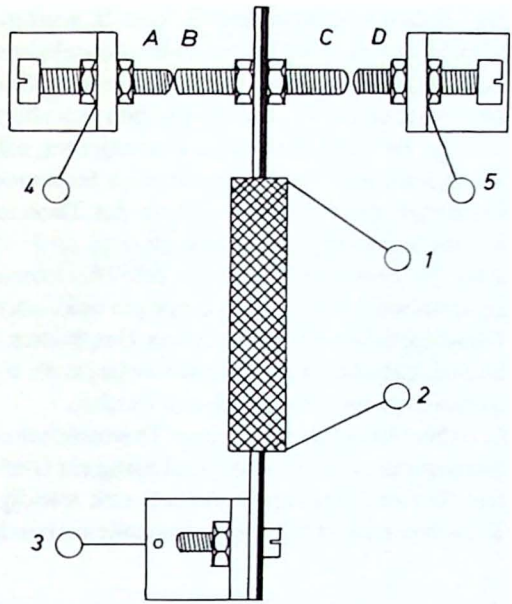
sägen und die Schnittstelle mit einer Flachfeile zu glätten. Metallstreifen und Haltewinkel werden mit einer Schraube 20 × 5 mm fest verbunden. Der Streifen muß gerade aufliegen. Der Haltewinkel selbst wird so auf das Grundbrett geschraubt, daß der Metallstreifen der Länge nach in der Mitte des Grundbrettchens liegt.

Als Kontakt findet eine kurze 5-mm-Schraube Verwendung. Man schneidet mit einer Metallsäge den Schraubenkopf ab, so daß man einen Gewindestab von 20 mm Länge erhält. Er wird mit zwei 5-mm-Gewindemuttern befestigt. Auch die übrigen Kontakte sind auf einfache Weise herzustellen; je zwei 45 mm lange Zylinderkopfschrauben werden mit je zwei entsprechenden Muttern auf den Kontaktwinkeln befestigt. Die beiden Winkel schraubt man mit starken Holzschrauben so auf das Grundbrett, daß der Streifenkontakt links und rechts von den Kontaktschrauben berührt werden kann.

Nun kommt eine wichtige Arbeit, nämlich das Bewickeln des Metallstreifens mit Widerstandsdraht. Zunächst wickelt man um den Metallstreifen eine Lage Ölpapier oder Isolierleinen von etwa 120 × 60 mm. Auf diese Schutzlage wird die Widerstandswicklung gebracht. Sie besteht aus 0,5 mm dickem und 1 m langem Konstantandraht. Ein je 40 mm langes Stück bleibt am Anfang und am Ende frei. Diese beiden Enden dienen zum Anschluß an die Klemmschrauben. Die fertige Widerstandswicklung versieht man zum Abschluß mit einer Schutzwicklung aus Isolierpapier. Nun werden auf dem Grundbrett noch einige Klemmschrauben angebracht, die mit den Kontakten in leitender Verbindung stehen müssen. Die Lage der einzelnen Klemmschrauben (1–5) ergibt sich aus Abb. 37. Die elektrischen Verbindungen bestehen aus kurzen Drahtstückchen, die fest untergeklemmt werden. Um Kurzschlüsse zu vermeiden, isoliert man die Drahtverbindungen mit Isolierschlauch.

Sind alle diese Arbeiten geschehen, dann kann der Thermoschalter in Betrieb genommen werden. Zunächst stellt man ihn richtig ein. Die Kontakte A und B müssen sich leicht berühren. Man löst zu diesem Zwecke eine der Befestigungsmuttern des Kontaktwinkels und stellt die Kontaktschraube A so weit nach, bis sie die Kontaktfläche B unter leichtem Druck berührt. Das kontrolliert man, indem man die Metallstreifen ein klein wenig nach links ausbiegt. Infolge der Federkraft werden die beiden Kontakte dann gut aufeinander liegen. Die Kontakte C und D

Abb. 37 Lage der Klemmschrauben



müssen ungefähr 1 mm weit voneinander entfernt sein. Durch entsprechendes Verstellen der Kontaktschraube D läßt sich das leicht erreichen.

Damit ist der Thermoschalter betriebsbereit. Man schließt an die Klemmen 1 und 2 einen 4-Volt-Akkumulator oder die entsprechenden Klemmen des Stromversorgungsgerätes (Strombedarf etwa 2 Ampere) an. Schon nach kurzer Zeit wird der Widerstand erwärmt, und der Metallstreifen wird sich in der bereits bekannten Art durchbiegen. Gleichzeitig kann man beobachten, wie sich die Kontakte A und B öffnen und die Kontakte C und D schließen.

Die Zeit, in der sich dieser Vorgang vollzieht, ist abhängig von der angelegten Spannung und der Größe des Luftspaltes zwischen den Kontakten C und D. Verringert man z. B. den Luftspalt, dann ist der Weg, den der Metallstreifen zurücklegen muß, viel kürzer, folglich wird auch der Kontakt D von C viel eher berührt werden. Erhöht man die Spannung, dann wird der Streifen schneller warm und wird sich schneller durchbie-

gen. Sollen die Kontakte A und B wieder geschlossen werden, so braucht man nur die Stromquelle abzuschalten, und schon nach kurzer Zeit wird der Metallstreifen wieder in seine Ruhelage zurückkehren.
Mit den Klemmen 3, 4 und 5 ergeben sich allerlei Schaltungsmöglichkeiten, die Sie der Reihe nach kennenlernen sollen. In Abb. 38 sind die Klemmen 3 und 4 in Reihe mit einer Stromquelle und einer Glühlampe geschaltet. Nach Inbetriebnahme des Thermoschalters öffnen sich die Kontakte, und die Lampe erlischt.
Abb. 39 zeigt den Anschluß des Thermoschalters für den Fall, daß abwechslungsweise je ein Lämpchen links oder rechts brennen soll. Der Thermoschalter arbeitet dann als Umschalter. An Stelle der Lämpchen können natürlich auch andere Geräte, z. B. elektrische Klingeln, Elektromotoren usw., angeschlossen werden.
In Abb. 40 schaltet sich der Thermoschalter selbständig von seiner Stromquelle ab und bringt gleichzeitig ein Glühlämpchen zum Aufleuchten. Dieser Vorgang wiederholt sich ständig von selbst, solange die Klemmen 1 und 4 mit der Stromquelle verbunden sind.

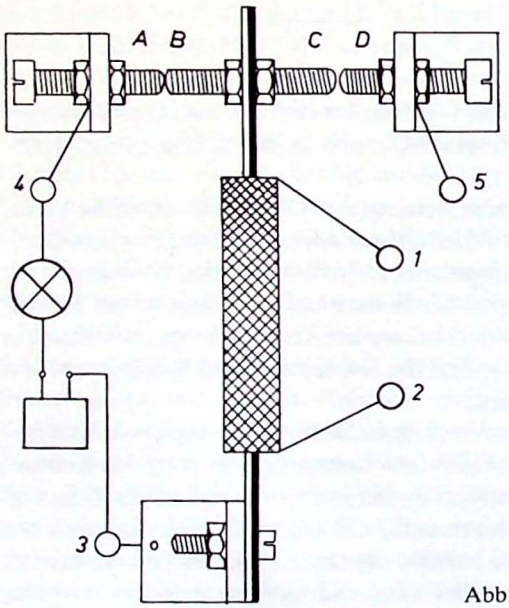


Abb. 38 Erste Versuchsschaltung

Abb. 39 Zweite Versuchsschaltung

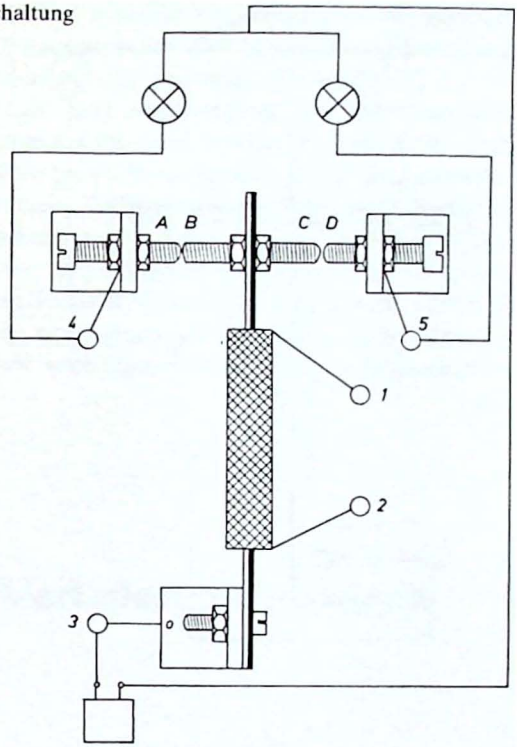


Abb. 12, Tafel 7 zeigt den fertigen Thermoschalter, der sich auch ausgezeichnet für den Bau eines einfachen fotografischen Selbstauslösers verwenden läßt. Man geht dabei nach Abb. 41 vor. Die Heizspule des Thermoschalters wird über einen Drehschalter von einer Batterie gespeist. Im Schalterkreis des Thermoschalters liegt die Spule eines Elektromagneten, der einen Anker anzieht. Man muß nun die Auslöserschnur des Fotoapparates so befestigen, daß beim Anziehen des Ankers der Knopf bis zum Anschlag durchgedrückt wird. Bei einigem mechanischen Verständnis fällt solch eine Konstruktion gar nicht schwer.

Ist die Anlage aufgebaut, so braucht man nur den Schalter zu drehen und schnell auf den für die Aufnahme bestimmten Platz zu springen. Es dauert einige Zeit, bis der Schalterkontakt so weit erwärmt ist, daß sich

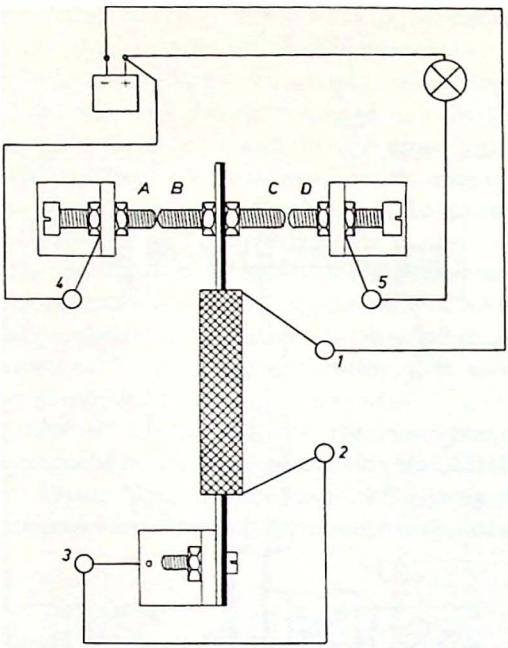
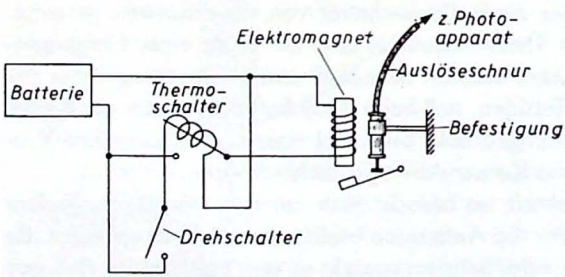


Abb. 40 Dritte Versuchsschaltung

Abb. 41 Thermoschalter als Fotoauslöser



die beiden Kontakte berühren. In diesem Augenblick zieht der Elektromagnet an und löst den Fotoapparat aus. Die beschriebene Einrichtung spart nicht nur Geld, sondern bereitet auch recht viel Spaß.
Heute werden viele Schalt- und Regelvorgänge auf elektronischem Wege ausgeführt. Trotzdem hat der mechanische Thermoschalter noch längst nicht ausgedient. Den besten Beweis hierfür liefert die Autoindustrie. Zeitschalter, Blinkrelais, Thermometer usw. sind nach wie vor in den verschiedensten Variationen im Kraftwagen zu finden. Für den Bastler lohnt es sich daher, sich auf Schrottplätzen oder in Autowerkstätten nach ausgedienten Reglern, Relais usw. umzusehen, um so in den Besitz von Bimetallen zu kommen, mit denen sich Konstruktionen von Reglern, Schaltern usw. nach eigenen Ideen verwirklichen lassen.

14. Schalter, Verteiler, Sicherungen

14.1 Bedeutung

Bei allen elektrischen Anlagen sind Vorrichtungen nötig, die gestatten, den Strom schnell ein- und auszuschalten. Man kann das zwar dadurch bewirken, daß man eine Verbindungsklemme (etwa eine der Polklemmen der Stromquelle) löst und dabei den entsprechenden Draht daraus entfernt. Das ist aber auf die Dauer sehr umständlich und überhaupt nicht anwendbar, wenn die Ein- und Ausschaltung des Stromes an einer Stelle erfolgen soll, die von der Batterie weit entfernt ist. Man braucht Schalter, je nach Form und Verwendung: Taster, Druckknöpfe, Hebelschalter, Umschalter usw.
Derartige Schalter und Taster gibt es heute im Handel in allen möglichen Ausführungen für wenig Geld zu kaufen, so daß ein Selbstbau besser unterbleibt. Das Studium eines Firmenkatalogs ergibt einen Überblick über die Vielzahl der Bauformen.

Verteiler haben den Zweck, verschiedene Verbraucher oder sonstige elektrische Geräte gleichzeitig anzuschließen.
Ein besonderes, sehr wichtiges Kapitel sind die Sicherungen, insbesondere die sog. Schmelzsicherungen. Sie werden in der Elektrotechnik dazu verwendet, Apparate und Leitungen, die nur für Ströme bestimmter Stärke berechnet sind, vor der Einwirkung stärkerer Ströme zu schützen, indem sie den Strom selbsttätig unterbrechen, sobald er aus irgendeinem Grunde zu stark wird. Sie bestehen im allgemeinen aus einem leicht schmelzbaren Metalldraht von hohem Widerstand, welcher infolge der durch den Strom herbeigeführten Erwärmung schmilzt und dadurch die Leitung unterbricht, sobald der Strom eine bestimmte, für die Leitung selbst noch nicht gefahrbringende Stärke erreicht. Man benützt also in den Sicherungen gerade die Erscheinung des Durchschmelzens (daher der Name *Schmelzsicherung*) oder Durchbrennens, deren Auftreten man in der Leitung selbst verhindern will.
Das Auftreten schädlicher Stromstärken kann verschiedene Ursachen haben. Bei Schwachstromleitungen kann z. B. die leitende Berührung mit einer Starkstromleitung den Übergang von Starkstrom auf das Schwachstromnetz bewirken. Fernmelde- und Telefonleitungen, die streckenweise im Freien verlaufen, sind den Entladungen der atmosphärischen Elektrizität (Blitze usw.) ausgesetzt, die oft über solche Leitungen zur Erde gehen. Fehlerhafte Schaltung einer Stromquelle oder Kurzschluß in der Leitung können ebenfalls starke Ströme entstehen lassen, denen Leitungen und Apparate nicht gewachsen sind. Der Begriff des zu starken Stromes ändert sich natürlich in jedem einzelnen Falle. Hat man z. B. eine Klingel, deren Wicklung für Ströme von höchstens 0,5 Ampere berechnet ist, in eine Leitung geschaltet, so ist ein Strom von 1 Ampere schon zu hoch. Bei einem Elektromotor, dessen Wicklung für einen Strom von 5 Ampere berechnet ist, ist erst ein Strom von mehr als 5 Ampere zu groß.
Selbstbaugeräte, die mit dem Stromnetz in Verbindung stehen, müssen in jedem Fall eine Zusatzsicherung enthalten. Man darf sich unter keinen Umständen nur auf die an der Zählertafel montierte Haussicherung verlassen. In Batteriegeräte eingebaute Sicherungen sind kein Luxus. Schaltfehler, Kurzschlüsse etc. werden durch eine richtig bemessene Sicherung angezeigt, die somit vor Schaden bewahrt. Auf gar keinen Fall darf man die Nulleitung absichern. Die Schutzerdung würde

unwirksam, wenn eine hier angebrachte Sicherung aus irgendeinem Grunde unterbrochen wäre.

14.2 Sicherungstypen

Die Vielzahl der im Fachhandel angebotenen Sicherungen wird den Anfänger etwas verwirren. Da aber jeder Typ eine besondere Bedeutung hat, sollen Sie sich ein wenig näher damit befassen.
Der Schmelzleiter in jeder Sicherung benötigt eine bestimmte Zeit zum Abschmelzen. Diese Zeit ist bei den verschiedenen Sicherungstypen unterschiedlich. Flinke Sicherungen sprechen auf kurzzeitige Überstromwerte sofort an. Ihre Schmelzzeit kann bei 1,75-fachem Nennwert 10 sec betragen. Sie werden überall eingesetzt, wo keine hohen und langdauernden Einschaltstromstöße auftreten. Träge Sicherungen schalten kurzzeitige Überströme nicht sofort ab. Der Grenzwert liegt beim 5-fachen Nennstrom, der nicht länger als 6 sec fließen darf. Ihr Einsatz erfolgt meist in Haushaltsmotoren. Überflinke Sicherungen schalten bei Überschreitung des zulässigen Nennstromes *sofort* ab. Sie dienen zum Schutz besonders empfindlicher Meßinstrumente, Dioden und Transistoren.
Zur Sicherung der Stromkreise von Stromversorgungsgeräten, elektronisch geregelten Netzgeräten etc. verwendet man automatische Schutzschalter. Diese leicht zu montierenden Sicherungen kann man mit einem Druckknopf einschalten. Der Schaltkontakt ist mit einer Sperrklinke versehen, die einen Bimetall-Riegel mechanisch festhält. Eine Spule, durch die der Arbeitsstrom fließt, erwärmt den Metallriegel, der sich biegt (im Abschnitt 13.3, Thermoschalter, haben Sie dieses Prinzip ausführlich kennengelernt). Überschreitet der Strom eine genau eingestellte Grenze, dann wird die Verriegelung aufgehoben und der Schaltkontakt geöffnet. Die Schaltcharakteristik dieser Schutzschalter liegt bei flink bis mittelträge. Abb. 16, Tafel 9 zeigt diverse Sicherungen.

14.3 Berührungsspannung – Fehlerspannung

Trotz aller Sorgfalt beim Aufbau eines Gerätes und trotz bester Isolierung können gelegentlich Fehler auftreten, vor deren Auswirkungen man sich schützen muß. So kann natürliches Altern von isolierten Leitern oder mechanische Beanspruchung die Ursache von Isolationsfehlern sein, die zu *Kurzschluß*, *Erdschluß* oder *Körperschluß* führen. Bei vollkommenem Kurzschluß oder Erdschluß ist die leitende Verbindung zwischen betriebsmäßig gegeneinander unter Spannung stehenden Leitern widerstandslos. Der Kurz- bzw. Erdschlußstrom wird dabei so stark, daß ein kurzfristiges Auslösen der im Stromkreis liegenden Überstromschutzorgane – Sicherung, Schutzschalter usw. – eintritt. Beim Körperschluß sind leitfähige Teile, die nicht zum Betriebsstromkreis gehören, leitend mit Teilen der Geräte (Bohrmaschine, Bügeleisen, Metallgehäuse) verbunden, die unter Spannung stehen. Dadurch entstehen Fehlerspannungen und als deren Folge Berührungsspannungen, die sehr unterschiedlich sein können. Bei einem hochohmigen Körperschluß sind meistens die Fehlerspannung und der daraus resultierende Fehlerstrom so gering, daß die üblichen Schutzorgane (Sicherung) nicht ansprechen. Berührt man ein mit Körperschluß behaftetes Gerät, so fließt der Fehlerstrom über den eigenen Körperwiderstand zur Erde ab. Das kann ohne Folgen bleiben, wenn die Grenze der Berührungsspannung nicht überschritten wird. Ist das jedoch der Fall, so wird die treibende Spannung auch den Fehlerstrom vergrößern und die Person, die mit dem fehlerhaften Gerät in Berührung kommt, ernsten Gefahren aussetzen. Um nun der eigenen Elektroanlage eine kompakte Sicherheit zu verleihen und damit eine Gefahr auszuschließen, schaltet man vor die Steckdose, aus der man den Strom zum Experimentieren entnimmt, einen Fehlerstrom-Schutzschalter (Kurzbezeichnung NFI).

Abb. 17, Tafel 9 zeigt diesen Schutzschalter, der allseitig durch ein stabiles Kunststoffgehäuse isoliert ist. An der Rückseite befindet sich ein kompakt mit dem Schutzgehäuse verbundener Schukostecker, der in jede Steckdose paßt. Der Weiterleitung der geschützten Spannung dient ein dreipoliger Klemmenanschluß, der mit einer abnehmbaren Schutzhaube abgedeckt ist.

Schaltet man mehrere Steckdosen in Reihe, wie die Abb. 17, Tafel 9 zeigt, so ergibt sich eine Verteilereinheit zur bequemen Stroment-

nahme. Der Nennstrom, der aus dem Schutzschalter entnommen werden kann, reicht bis 16 A. Es kann also auch ein kräftiger Heizkörper angeschlossen werden. Außer der Sicherung, die bei einem Kurzschluß sofort auslöst, befindet sich im Gehäuse auch noch eine Schutzautomatik, die bei einem Fehlerstrom zwischen dem Schutzleiter und dem spannungführenden Pol sofort abschaltet. Der Schutzschalter wird mit dem an der rechten Seite befindlichen Schalthebel eingeschaltet. Fließt ein Fehlerstrom, wie er aus den eingangs erwähnten Gründen entstehen kann, so schaltet der Schutzschalter bei 10 mA oder je nach Schaltertyp blitzschnell ab. Rechts oberhalb des Schalthebels befindet sich eine Prüftaste, mit der man vor jeder Stromaufnahme das einwandfreie Funktionieren des Schutzschalters prüfen kann. Schaltet der Schutzschalter beim Experimentieren plötzlich ab, so muß man die Ursache bei dem angeschlossenen Gerät suchen, wobei natürlich der Strom abgeschaltet werden muß. Für den Elektropraktiker, der sich an das Stromnetz heranwagt, ist diese Schutzeinrichtung sehr zu empfehlen, auch wenn die hierfür erforderlichen Teile nicht eben billig sind.

14.4 Eine Schaltuhr – provisorisch – aber sie funktioniert

Viele ebenso interessante wie nützliche Versuche lassen sich mit Hilfe einer Schaltuhr durchführen. Schaltuhren, ein Beispiel zeigt Abb. 18, Tafel 10, bekommt man heute zwar in jedem besseren Elektro- oder Radiogeschäft; sie kosten aber ziemlich viel Geld. Mit Hilfe eines alten Weckers, der sich bestimmt in jedem Haushalt findet, kann man sich nun ohne weitere Unkosten selbst eine Schaltuhr bauen. Abb. 42 zeigt, wie das gemacht wird. Man befestigt den Wecker mit Hilfe von Schrauben oder mit einem Spannbügel auf einem stabilen Holzbrett. Daneben wird ein kleiner Hebelschalter montiert. Um den Aufzugschlüssel des Weckers für das Läutwerk wird eine kräftige Schnur gewickelt, deren anderes Ende mit dem Schalthebel in Verbindung steht. Sollte statt des Aufzugschlüssels am Wecker nur eine Rändelschraube vorhanden sein, so kann man leicht aus einem Drahtstückchen einen kleinen Haken biegen und mit UHU-plus festkleben. Man stellt nun den Wecker so ein, daß das Läutwerk zu einer bestimmten Zeit ausgelöst wird. Dann dreht

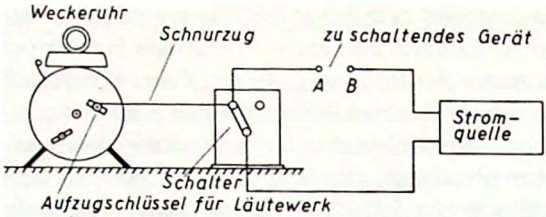


Abb. 42 Selbstbau einer Schaltuhr

sich, wie Sie sicher schon beobachtet haben, der Aufzugschlüssel, die Schnur wickelt sich auf und zieht bei dieser Gelegenheit den Kontakthebel des Schalters herüber. Dadurch wird der Kontakt geschlossen. Durch entsprechende Wahl der Lage des Schalters oder durch eine einfache Umlenkrolle kann man es leicht so einrichten, daß beim Ablauf des Läutwerks der Schalter entweder geschlossen oder geöffnet wird. Angenommen, man möchte eine bestimmte Radiosendung um 6 Uhr hören, und das Gerät soll sich um diese Zeit pünktlich einschalten, dann muß sich der Schalter natürlich zu dem gewählten Zeitpunkt schließen. Die Anschaltung des Rundfunkempfängers an das Netz bzw. an die Schaltuhr ergibt sich aus Abb. 42. Das einzuschaltende Gerät wird mit den Klemmen A und B verbunden, die Stromquelle liegt in Reihe damit an den beiden Schalterkontakten. Handelt es sich um die Spannung des Lichtnetzes, so muß der Schalter berührungssicher ausgeführt sein. Das erreicht man, indem man die blanken Teile mit einem Schutzgehäuse umgibt.

Das Einschalten eines Rundfunkempfängers ist nur eine der vielen, mit einer Schaltuhr denkbaren Möglichkeiten. So kann man sich durch Einschalten eines Summers rechtzeitig und wesentlich geräuschloser als mit einem gewöhnlichen Wecker wecken lassen. Man kann auch zu einer bestimmten Tageszeit automatisch einen Raum erhellen, ein Signal geben oder sonst einen elektrischen Vorgang auslösen. Die Selbstherstellung einer Schaltuhr ist billig und lohnt sich immer.

14.5 Ein Verteilerkästchen für kleine Spannungen und schwache Ströme

Folgendes Material wird benötigt:
12 Stück 6-mm-Buchsen
1 Pertinaxplatte 97 × 55 × 2 mm
3 Holzbrettchen 96 × 40 × 6 mm
2 Holzbrettchen 34 × 42 × 6 mm
div. Kleinmaterial (0,5 mm starker Kupferdraht, etwas Schaltlitze, Bananenstekker usw.)

In alle vier Ecken des Pertinax-Plättchens, etwa in einem Abstand von 5 mm von der Außenkante gemessen, werden 2,5-mm-Löcher gebohrt. Sie dienen später zur Aufnahme von Holzschrauben, mit denen das Plättchen im Gehäuse befestigt wird, das man nun der Länge nach und genau in der Mitte mit einem Strich versieht. Dafür nimmt man am besten einen spitzen, weichen Bleistift, um die polierte Oberschicht der Pertinaxplatte nicht zu verkratzen. Wenn man das Plättchen von der Unterseite her anzeichnet, kann man auch eine Reißnadel verwenden, da dann die angezeichneten Striche bei dem fertigen Verteilerkästchen nicht mehr sichtbar sind.
Nun mißt man vor dem Mittelstrich mit einer Schieblehre oder mit einem genauen Bandmaß 9,5 mm nach links und rechts und zeichnet dort jeweils einen Markierungspunkt an. Parallel zu der Mittellinie werden weitere Markierungspunkte auf die ganze Länge des Pertinaxplättchen aufgetragen. Zur Kontrolle mißt man nochmals den genauen Abstand der äußeren Linien zueinander. Dieser muß ca. 19,5 mm betragen, weil alle zweipoligen Stecker, gleichgültig ob sie für Schwachstrom oder Starkstrom verwendet werden, in ihren Abmessungen genormt sind. Wenn also beim Anzeichnen des Pertinaxplättchens dieses Maß genau eingehalten wurde, so kann man jederzeit auf bequeme Art und Weise den Stecker oder die Kupplung usw. leicht auswechseln. Die angezeichneten Längsstriche werden nun durch sechs Querstriche in einem Abstand von 15 mm unterteilt. Den auf diese Weise erhaltenen Kreuzungspunkt körnt man gut an und bohrt dort ein Loch von 6 mm Durchmesser. Dieser Vorgang wird zwölfmal wiederholt; dann ist die Frontplatte fertiggebohrt. Die 12 Stück 6-mm-Buchsen haben ein Schraubgewinde und sind mit zwei Gewindemuttern versehen. Sie wer-

den auf der Frontplatte mit den Gewindemuttern befestigt und die Muttern mit einer Flachzange gut angezogen. Mit einem 0,5 mm starken, blanken Kupferdraht wird je eine Buchsenreihe miteinander verbunden. Zur Befestigung des Kupferdrahtes verwendet man die zweite Gewindemutter und verhindert somit ein Lockerwerden der Steckbuchse in der Frontplatte. Als Verbindungsschnur dient eine zweipolige, leicht bewegliche Litze von etwa ½ m Länge. Die Enden der Litze werden sauber blank gemacht. Je ein Pol wird mit einer Buchsenreihe verbunden, indem man die Litze zugleich mit dem Kupferdraht unterklemmt oder die Litze direkt auf die Buchse lötet.

Diese Einheit wird nun in ein Holzkästchen mit den Abmessungen 96 × 55 × 4 mm eingebaut. Mit Alleskleber (z. B. UHU) werden die Holzbrettchen so zusammengeleimt, daß ein sauberes Kästchen daraus entsteht. Ist der Leim trocken und das Kästchen genügend fest, so bohrt man durch eine Schmalseite ein 5-mm-Loch zum Durchführen der Anschlußlitze, an deren beiden Enden zwei Bananenstecker oder ein zweipoliger Schwachstrom-Flachstecker befestigt wird. Die Frontplatte selbst wird mit vier kleinen Holzschrauben mit dem Kästchen verbunden.

Damit ist nun der Verteiler fertiggestellt, und kann in Betrieb genommen werden. Wie schon der Name sagt, kann man die Spannung auf mehrere Geräte verteilen. Man erzielt mit dieser Einrichtung stets guten Kontakt, weil von vornherein lose Schaltverbindungen vermieden werden.

Für die Versuche fertigt man sich am besten mehrere solcher Verteilerkästchen an. Die Außenabmessungen hierfür brauchen dabei natürlich nicht immer eingehalten zu werden. Man kann die Verteilerkästchen auch etwas größer machen, um mehr Anschlußmöglichkeiten zu erhalten. Auch ein eingebauter Schalter ist recht empfehlenswert. Auf diese Weise können die angeschlossenen Geräte durch einen einzigen Schaltgriff stromlos gemacht werden. Abb. 7, Tafel 5 zeigt ein Lichtbild der kleinen Vorrichtung.

15. Elektrisches Licht

15.1 Was ist Licht?

Licht ist eine elektromagnetische Schwingung mit außerordentlich kurzer Wellenlänge, die innerhalb eines Frequenzbandes liegt, auf das das menschliche Auge reagiert. Dieses Frequenzband ist im Vergleich zu dem gesamten, heute bekannten Spektrum der elektromagnetischen Schwingungen äußerst schmal. Unser Auge erfaßt nur einen winzigen Ausschnitt aus dem großen Frequenzband. Die dieses Band begrenzenden Wellenlängen liegen bei etwa 400 . . . 760 nm. Ein nm (Nanometer) ist das Längenmaß der Lichtwellen und entspricht 1 Millionstel Millimeter. Aus der nachstehend aufgeführten Tabelle ist ersichtlich, daß in dem schmalen Bereich von 400 . . . 760 nm alle uns bekannten Farben enthalten sind:

Lichtfarbe	Wellenlänge in nm
Infrarot	800
Dunkelrot	760
Hellrot	680
Orange	650
Gelb	590
Grün	530
Hellblau	490
Dunkelblau	430
Violett	400
Ultraviolett	260 . . . 400

Weißes Licht hat keine bestimmte Wellenlänge; es setzt sich aus allen im sichtbaren Frequenzbereich liegenden Einzelwellenlängen zusammen. Aus der Schule kennt wohl jeder den Versuch der Lichtzerlegung mit Hilfe eines Glasprismas, durch das Sonnenstrahlen fallen. Solch ein Prisma weist für die verschiedenen Lichtwellenlängen ein unterschiedliches Brechungsvermögen auf. Je kurzwelliger das Licht ist, um so stär-

ker wird es von dem Prisma gebrochen. Demnach erzeugt solch eine Einrichtung auf einem weißen Hintergrund ein farbiges Band, das bei tiefem Rot beginnt, die ganze Farbskala durchläuft und bei tiefem Violett endet. Dieses Farbspektrum kennen Sie übrigens auch vom Regenbogen her.

15.2 Wie entsteht elektrisches Licht?

Dem amerikanischen Erfinder Edison gelang es, einen dünnen, vom elektrischen Strom bis zur Weißglut erhitzten Kohlefaden für Beleuchtungszwecke zu verwenden. Edison schloß diesen Draht in eine nahezu luftleer gemachte Glasbirne ein, damit er nicht mit dem Luftsauerstoff in Berührung kam; er wäre sonst sofort verbrannt. Damit hat Edison die erste brauchbare elektrische Glühlampe geschaffen.
Die Wirkungsweise der Glühlampe ist einfach und beruht, wie schon gesagt, auf der blendenden Lichtstrahlung eines durch den elektrischen Strom zur Weißglut erhitzten dünnen Drahtes, der in einer luftleeren Glasbirne eingeschlossen ist. Der Nachteil einer solchen Anordnung besteht darin, daß der allergrößte Teil der in die Glühlampe hineingesteckten elektrischen Energie nicht in Form von Licht, sondern von Wärme frei wird.
Eine wesentlich bessere Lichtausbeute des elektrischen Stromes erhält man mit den sog. Gasentladungslampen. Sie beruhen darauf, daß verdünnte Gase durch elektrische Ströme zum Leuchten gebracht werden. Diese Art der Lichterzeugung kennen Sie von den Neon- und Leuchtstoffröhren für Reklame- und Beleuchtungszwecke.
Glühlampen eignen sich, da sie eigentlich elektrische Widerstände darstellen, auch sehr gut als Vorschaltwiderstände. Insbesondere zum Laden von Akkumulatoren aus einer Gleichstromquelle werden sie gern verwendet; man kann sie ja jederzeit so schalten, daß ihr Licht nebenbei nützlichen Zwecken dient, z. B. als Schreibtisch- oder Gangbeleuchtung usw. Die Möglichkeiten sind sehr zahlreich, und es bleibt jedem Bastler überlassen, eigene Ideen in die Tat umzusetzen. *Wie bei allen Arbeiten mit Netzspannung muß man aber auch hier sehr vorsichtig sein!*

15.3 Licht und Temperatur

Bei aufmerksamer Beobachtung stellt man fest, daß sich mit zunehmender Temperatur des Glühfadens die Farbe des Lichtes ändert. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Temperatur eines glühenden Gegenstandes optisch zu messen. Durch Vergleich der Meßwerte – man gewinnt sie mit dem Pyrometer – mit einer durch genaue Messungen ermittelten Tabelle erhält man Aufschluß über die Glühtemperatur. Die nachstehende Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen Glühfarbe und Temperatur:

Glühfarbe	Temperatur in °Celsius
Dunkelbraun	550
Braunrot	630
Dunkelrot	680
Dunkelkirschrot	740
Kirschrot	770
Hellkirschrot	800
Hellrot	900
Gelbrot	1000
Gelb	1100
Hellgelb	1200
Weiß	1300

15.4 Glühlampen in Reihe und parallel geschaltet

Für einen Versuch schaltet man einige Glühlampen parallel in einen Stromkreis. Dazu werden 4 Lämpchen von 6,3 V/0,3 A benötigt, die man nacheinander in die vorbereiteten Lampenfassungen einschraubt. Ein kleines Dreheisen-Meßinstrument mit einem Meßbereich von 1,5 A soll zeigen, wie sich der Strom bei der Parallelschaltung verhält. Abb. 43 zeigt die Anordnung. Das kleine Kästchen deutet die Stromquelle an. Wenn man das erste Lämpchen in die Fassung eindreht, wird es hell aufleuchten; das Instrument wird einen Ausschlag von 0,3 A anzeigen. Das entspricht genau dem Strom, den das Lämpchen braucht, um hell zu

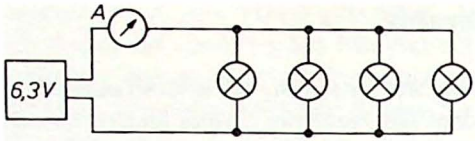


Abb. 43 Parallelschaltung von Glühlampen

brennen. Nun dreht man das zweite Lämpchen ein, es brennt; an der Helligkeit des ersten Lämpchens hat sich nichts geändert. Dagegen liest man nun den Wert von 0,6 A an dem Instrument ab und stellt fest, daß man der Spannungsquelle die doppelte Strommenge entnimmt. Mit jeder weiteren Lampenzuschaltung erhöht sich die Stromentnahme bis zum schließlichen Endwert von 1,2 A. Die Parallelschaltung der kleinen Glühlampen entspricht genau der Installation der Beleuchtungslampen in unseren Wohnungen.

Bei der Reihenschaltung kleiner Lampen ergeben sich ganz andere Verhältnisse, die Sie mit einem weiteren Versuch kennenlernen sollen. Zunächst zur Anordnung nach Abb. 44. Die vier Lämpchen sind hier hintereinander geschaltet; man bezeichnet eine solche Schaltung als Reihenschaltung. Um die Lämpchen wahlweise in Betrieb setzen zu können, werden sie mit den Schaltern S1 . . . S3 überbrückt. Die Stromquelle und das Instrument kennen Sie aus Abb. 43. Man schließt nun die Schalter, so daß der Strom nur über ein Lämpchen fließen kann, und schaltet die Stromquelle an. Das Lämpchen brennt, und am Instrument stellt sich ein Strom von 0,3 A ein. Öffnet man den Schalter S1, dann brennen zwei Lampen, aber dieses Mal nur mit halber Helligkeit. Der Strom von 0,3 A dagegen ist der gleiche geblieben. Da beide Lampen sich die Spannung von 6,3 V teilen müssen, ist die verminderte Helligkeit verständlich. Für jedes Lämpchen stehen also 3,15 V zur Verfügung. Beim Öffnen des Schalters S2 bemerken Sie einen weiteren Rück-

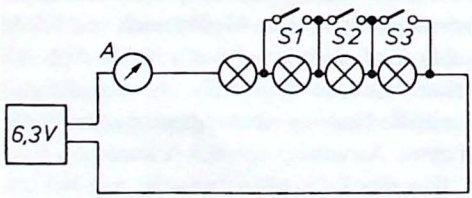


Abb. 44 Reihenschaltung von Glühlampen

gang der Helligkeit. Wird noch Schalter S3 geöffnet, so ist der Spannungsanteil für jedes Lämpchen so gering, daß der Glühfaden nur mehr ganz schwach glüht. Um zu erreichen, daß sämtliche Lampen mit normaler Helligkeit brennen, muß die Spannung der Stromquelle auf 25,2 V vergrößert werden.

Durch Parallel- und Reihenschaltung von Glühlampen kann man mit einfachsten Mitteln eine recht hübsche Christbaumbeleuchtung herstellen. Dazu braucht man einige Taschenlämpchen, eine Stromquelle, etwas Rundholz und ein paar Meter Draht. Da zur richtigen Beleuchtung des Christbaumes mehrere Kerzen oder Lämpchen gehören, muß man bei der Materialbeschaffung darauf natürlich Rücksicht nehmen. Sie sollen zunächst eine Musterkerze anfertigen. Zwei Rundholzstücke mit den Abmessungen 15 × 20 mm dienen als Haltestücke. Sie werden der Länge nach zweimal mit einem 15-mm-Bohrer durchbohrt, so daß sich je zwei parallellaufende Löcher ergeben. Durch beide Hölzer steckt man ein Stück 1,5 mm starken blanken Drahtes. Auf ein Ende des mittleren Drahtes lötet man eine kleine Beilagscheibe so, daß sie flach auf dem obersten Holzstückchen liegt. Auch eine 2- oder 3-mm-Mutter kann aufgelötet werden. Im Notfall genügt auch eine kleine Lötperle allein. Es kommt nur darauf an, daß sich der Draht nicht mehr herausschieben läßt. Durch die äußeren Löcher wird ebenfalls ein Draht gleicher Dicke geschoben. Das Ende muß jedoch einige Zentimeter herausstehen. Mit einer Rundzange biegt man dieses Ende zu einem Ring von solchem Durchmesser, daß sich das Gewinde eines Taschenlämpchens gut einschrauben läßt. Den Ring selbst lötet man vorsichtig zusammen. Viel Zinn darf bei dieser Arbeit nicht aufgetragen werden, weil sich sonst das Lämpchen nicht mehr einschrauben läßt.

Man dreht nun versuchshalber ein Lämpchen ein. Dabei muß der mittlere Kontakt die Lötstelle des mittleren Drahtstückchens gut berühren. Ist dies nicht der Fall, dann wird der äußere Draht so weit nachgeschoben, bis ein guter Kontakt hergestellt ist. Um ein nochmaliges Verschieben zu verhindern, bringt man an den Drähten entsprechende Lötpunkte an. Auf der Unterseite des zweiten Holzklötzchens stehen beide Drähte etwa 3 mm lang hervor. An diese Enden lötet man die Anschlußlitze und isoliert dann die blanken Stellen gut mit Isolierband.

Damit wären das Gerippe und die Fassung der Beleuchtung fertiggestellt. Um ein kerzenähnliches Aussehen zu erhalten, fertigt man sich

eine Hülse aus Papier an, die sich über das Ganze schieben läßt. Sauberes, weißes Papier wird auf die Maße 210 × 120 mm zugeschnitten. Ein Rundholz mit 15 mm Durchmesser und etwa 150 mm Länge wird als Wickellager benützt und das Papier so um das Holz gewickelt, daß eine saubere Rolle entsteht. Sie wird innen und außen verklebt. Farbige Kerzen kann man aus Buntpapier herstellen. Zum Anschluß wird eine dünne zweipolige Litze möglichst mit grüner Isolation verwendet, damit sie am Christbaum nicht auffällt. Als Stromquelle leistet das Stromversorgungsgerät gute Dienste. Es kann auch ein Akkumulator verwendet werden. Die 4-Volt-Lämpchen mit gleicher Stromaufnahme werden nach Abb. 43 parallel geschaltet. Bei einem Lichtnetz wird die Serienschaltung nach Abb. 44 angewendet. Hierzu braucht man noch einen Widerstand, damit die Lämpchen nicht durchbrennen. *Bei Anschluß an das Lichtnetz sollte grundsätzlich ein Trenntransformator verwendet werden.* Die Anzahl der in Reihe geschalteten Lämpchen bestimmt die Voltzahl der Sekundärwicklung eines derartigen Transformators.
Abb. 45 zeigt das »Skelett« der Christbaumkerzen. Wie werden nun die Kerzen auf dem Baum befestigt? Dafür eignen sich die üblichen Christbaumkerzenhalter, wenn man die Zungen so zurechtbiegt, daß das untere Holzstück mit der darübergeschobenen Papierhülse leicht eingesteckt werden kann.

15.5 Licht geht um die Ecke

Gutes Licht ist die Vorbedingung für eine sorgfältige Arbeit. Nicht immer läßt sich diese Forderung jedoch erfüllen. Besonders schwierig gestaltet sich die Ausleuchtung von Geräten, in deren Innerem an schwer zugänglichen Stellen Reparaturen oder Montagearbeiten ausgeführt werden sollen. Die Taschenlampe hilft hier nur wenig. Am günstigsten wäre eine Lichtquelle, deren Lichtstrahl gezielt, selbst wenn er um eine Ecke gehen müßte, die Reparaturstelle beleuchtet.
Mit einer recht einfachen Einrichtung kann man sich ein Gerät bauen, das diesen Wunsch erfüllt. Man besorgt sich einen runden Plexiglasstab von 10 mm Durchmesser und einer Länge von etwa 200 mm. Der Stab soll poliert sein und keine Kratzer oder sonstige Beschädigung aufweisen. Die Stirnseiten des Stabes werden mit einer Feile und anschließend

Abb. 45 Herstellung der Christbaumbeleuchtung

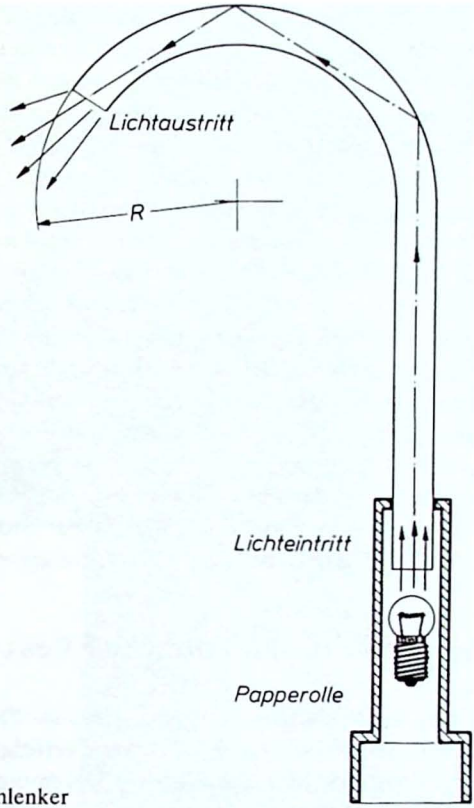


Abb. 46 Der praktische Lichtumlenker

mit feinem Schmirgelpapier geglättet. Über die weitere Bearbeitung des Stabes gibt Abb. 46 Aufschluß. Sie sehen, daß der Plexiglasstab gebogen werden muß. Dazu erwärmt man den Stab über kochendem Wasser, wobei man vorsichtshalber Handschuhe anzieht, um sich nicht die Finger zu verbrennen. Nach genügender Erwärmung läßt sich Plexiglas leicht verformen. Die Biegung sollte einen äußeren Krümmungsradius haben, der ungefähr fünfmal größer als die Stabdicke ist (vgl. die Abb. 46). Ein Stück Rundholz mit entsprechendem Durchmesser eignet sich gut dafür. Wie Sie aus Abb. 46 ersehen, beruht die Wirkung der Leuchte auf der Reflexion des Lichtstrahles. Durch die Hochglanzpolierung kann kein Licht austreten, wenn der Lichtstrahl nirgends steiler als unter

42° auf die Wand trifft. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn man den vorgeschriebenen Biegeradius einhält. Das nahezu verlustfrei weitergeleitete Licht tritt an der Stirnfläche wieder aus. Als Lichtquelle bewährt sich eine kleine Stabtaschenlampe, die man mit selbstgeklebten Papperöllchen versieht, in die der Plexiglasstab eingesteckt werden kann.
Die moderne Technik wendet seit längerer Zeit die Lichttransmission, d. h. Lichtleitung, in vielen Gebieten an. Statt eines starren Glas- oder Plexiglasstabes werden sehr dünne Glasfasern als Lichtleiter benutzt. Der Durchmesser einer einzelnen Glasfaser schwankt zwischen 0,013 und 0,1 mm. Je nach Verwendungszweck werden die einzelnen Fasern zu einem Bündel zusammengefaßt, so daß ein mehr oder weniger dicker Schlauch entsteht, der außerordentlich flexibel ist. Diese Schläuche können sehr lang sein, da während des Lichttransportes relativ geringe Verluste auftreten. Bei einer Länge von z. B. 1,80 m beträgt die ausgestrahlte Lichtmenge noch ca. 40 % des eingegebenen Lichtes. Diese vorzüglichen Eigenschaften finden in der Elektromedizin, in der Dentaltechnik, in der Fotometrie und in der Meßtechnik vielfache Anwendung. Abb. 21, Tafel 11 zeigt den Lichtumlenker.

15.6 Der stroboskopische Effekt

Über den Bildschirm läuft gerade ein knallharter Westernfilm. Ein halbes Dutzend verwegener Banditen verfolgt in atemberaubender Jagd eine Postkutsche, deren Fahrer verzweifelt auf die Zugpferde einschlägt. Das Tempo nimmt stetig zu, und der Abstand zwischen Verfolgern und Verfolgten wird immer größer. Die über Stock und Stein rollenden Räder drehen sich schneller und schneller, doch auf einmal scheinen sie langsamer zu werden, schließlich stehenzubleiben und sich dann rückwärts zu drehen. Daß der Fahrer trotz dieses recht merkwürdig anmutenden Effektes doch rechtzeitig die rettende Station erreicht, soll das glückliche Ende dieser kleinen Westernszene sein.
Sie sollen nun die Ursache dieses »stroboskopischen Effektes«, der bei Beleuchtung von Rädern oder kreisenden Speichen durch Wechselstromlichtquellen zustande kommt, kennen lernen. Eine nach Abb. 47 aufgebaute Versuchsanordnung leistet dazu gute Dienste. Als Grundplatte verwendet man ein Holzbrettchen mit den Abmessungen 100 × 80

Abb. 16: Diverse Sicherungen für den Elektrotechniker

Tafel 9

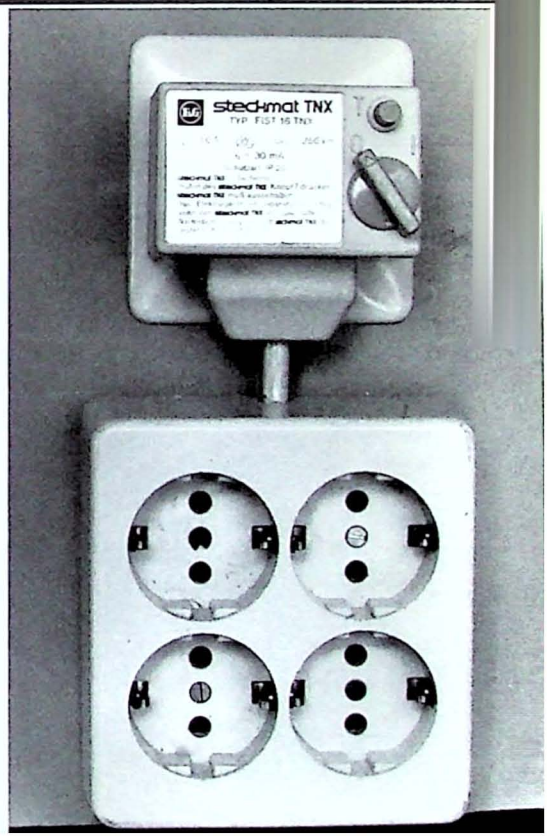


Abb. 17: Der Schutzschalter – eine Lebensversicherung

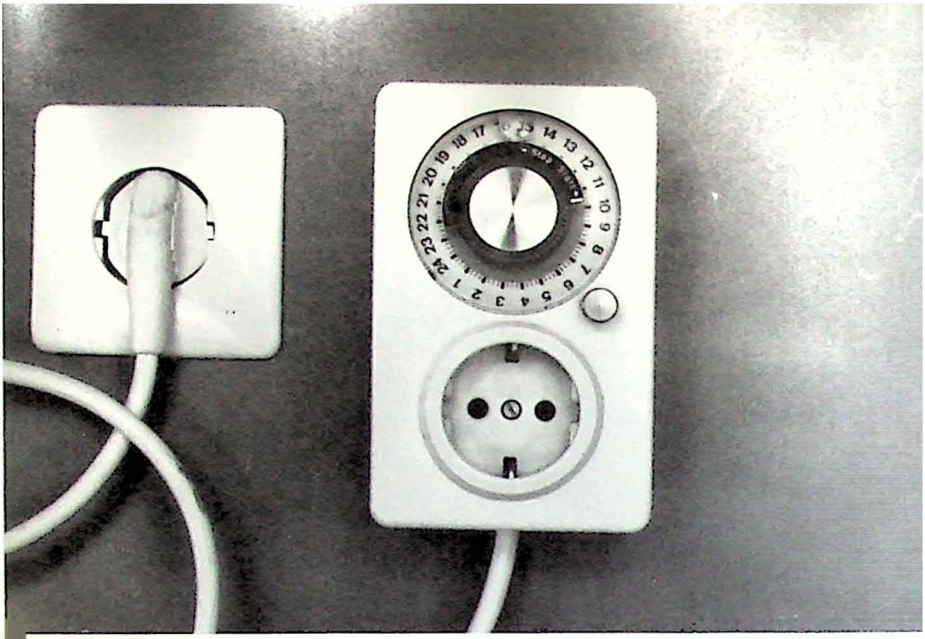


Abb. 18: Eine handelsübliche Schaltuhr

Tafel 10

Abb. 19: Das Läutwerk

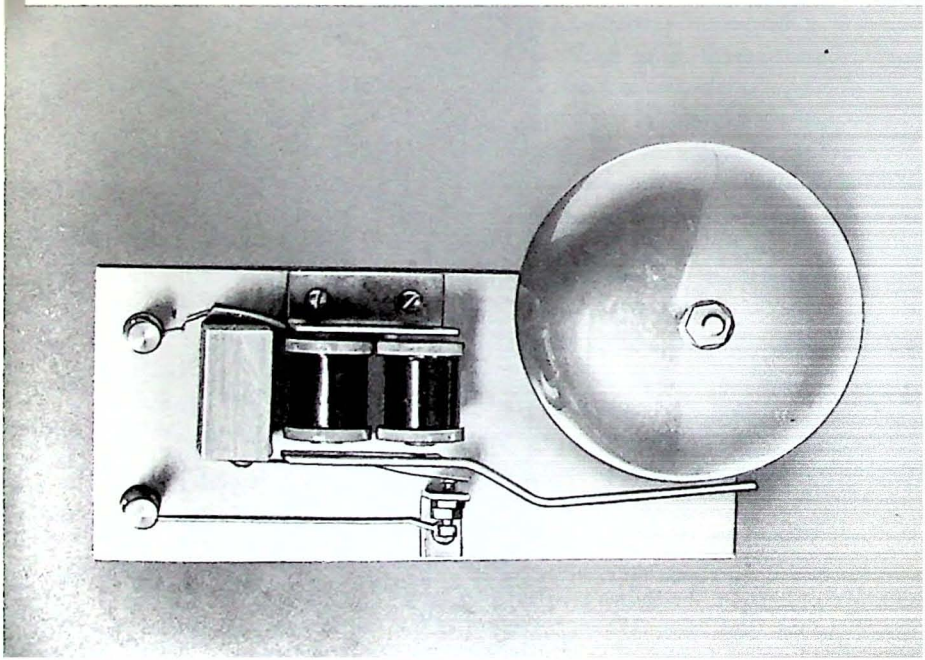
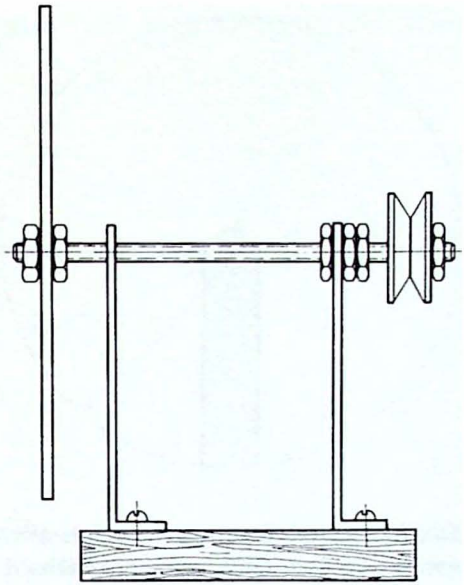


Abb. 47 Versuchsaufbau zum stroboskopischen Effekt



× 20 mm, auf das zwei Aluminiumwinkel geschraubt werden. Die gestreckte Länge dieser Winkel beträgt 100 mm. Es genügt, wenn die beiden Streifen etwa 20 mm breit und ca. 1,5 mm dick sind. Außer den Befestigungslöchern bringt man noch zwei Bohrungen zur Aufnahme der Drehachse an, die aus einer 90 mm langen 4-mm-Gewindestange besteht. Zum Antrieb verwendet man eine kleine Schnurlaufrolle, die im Fachhandel meistens unter Skalenräderzubehör zu finden ist. Sie wird mit 4-mm-Muttern auf der Gewindeachse befestigt. Die stroboskopische Scheibe kann aus steifer Pappe, Papier oder dünnem Pertinax bestehen. Ihr Durchmesser beträgt etwa 120 mm; sie wird ebenfalls mit Muttern auf der Achse befestigt. Damit ist die Versuchsanordnung zunächst fertiggestellt; nun kommt die Theorie.

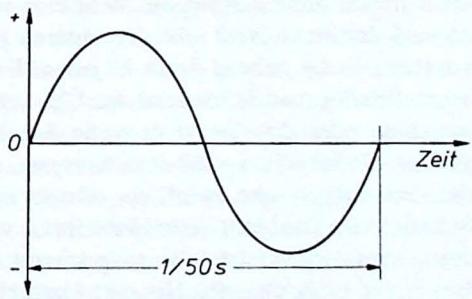


Abb. 48 Spannungsverlauf bei Wechselstrom

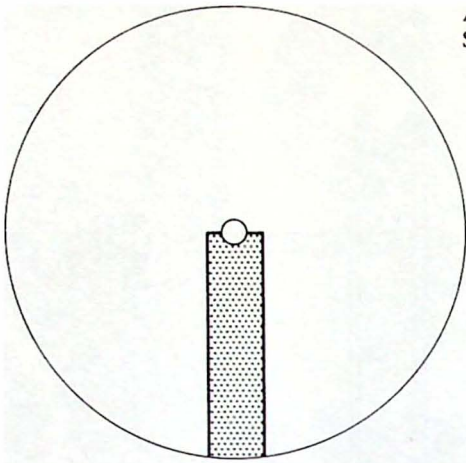
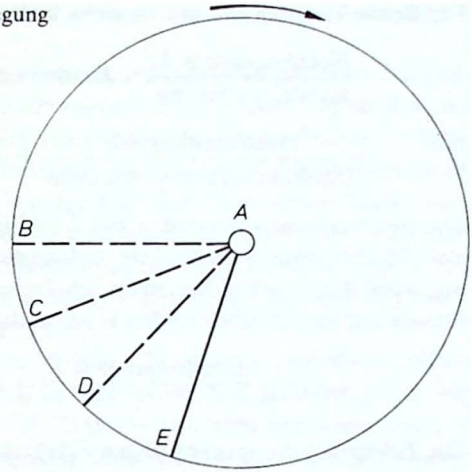


Abb. 49 Die stroboskopische Scheibe mit einem Strich

Der in unserem Lichtnetz fließende Wechselstrom hat eine Frequenz von 50 Hz, d. h. seine Spannung wechselt 50mal in der Sekunde von + zu –. Sie können dies auf Abb. 48 deutlich erkennen. Damit erreicht die Spannung 100mal in der Sekunde einen Höchstwert, und zwar 50mal in der positiven und nach dem Nulldurchgang in der negativen Richtung. Alle an diese Spannung angeschlossenen Glühlampen werden also 100mal in der Sekunde hell und dunkel. Das menschliche Auge, das von Natur aus träge ist, kann das Ansteigen und Abfallen der Lichtstärke nicht wahrnehmen. (Ohne diese Trägheit wären Film und Fernsehen nicht möglich!)

Entsprechend Abb. 49 bringt man auf der Scheibe (∅ 120 mm) einen etwa 10 mm breiten Strich an. Wird eine schwarze Scheibe verwendet, so muß der Strich weiß sein. Im anderen Fall soll der Strich eine satte schwarze Farbe haben, damit in jedem Fall ein starker Kontrast zwischen Scheibe und Strich entsteht. Über einen Motor, eine Handbohrmaschine oder dgl. bringt man die Scheibe in Bewegung. Wenn es gelingt, die Scheibe so schnell zu bewegen, daß sie 100 Umdrehungen in der Sekunde macht, wird der Strich auf der Scheibe stillstehen. Schwankt die Drehzahl, so wird der Strich vorwärts oder rückwärts wandern. Diese scheinbare Bewegung stimmt natürlich mit der wirklichen Bewegung nicht überein. Hundert Umdrehungen je Sekunde entspre-

Abb. 50 Die Rückwärtsbewegung bei einem Strich



chen einer Drehzahl von 6000 je Minute. Die modernen elektrischen Handbohrmaschinen haben eine Drehzahl von 4000 . . . 4500 Umdrehungen pro Minute, so daß man eine Übersetzung braucht. Das Antriebsrad muß groß sein, das getriebene dagegen klein.

Wie kommt nun der stillstehende Strich zustande? Hundertmal in der Sekunde wird der Strich beleuchtet, und zwar immer an der gleichen Stelle, wenn das Licht am hellsten ist. Wird die Drehbewegung kleiner, dann wird entsprechend Abb. 50 der Strich, der beim ersten hellen Aufleuchten der Glühlampe die Stellung A–B einnahm, beim zweiten Aufleuchten noch in der Lage A–B sein. Er befindet sich zuerst in der Stellung A–C, beim nächsten Lichthöchstwert in der Stellung A–D und schließlich in der Stellung A–E. Wie schon erwähnt, ist die Trägheit des Auges schuld daran, daß man den schnellen Wechsel der Stellungen nicht erkennen kann und somit den Eindruck hat, als bewege sich der Strich entgegen der Drehrichtung der Scheibe. Bei einer schnelleren Drehung der Scheibe, also bei mehr als 100 Umdrehungen je Sekunde, wird der Strich langsam vorwärts wandern. Bringt man auf der Scheibe einen zweiten Strich an, und zwar so, daß er in der entgegengesetzten Richtung zum ersten verläuft, so wird sich der Effekt schon bei der halben Drehzahl, also bei 50 Umdrehungen in der Sekunde, einstellen. Bei vier Strichen sind nur mehr 25 Umdrehungen erforderlich.

Für diesen Vorgang gibt es eine einfache Rechenformel:

$$\frac{\text{Netzfrequenz} \times 2}{\text{Anzahl der Striche}} = \text{Umdrehungszahl je Sekunde}$$

oder

$$\frac{\text{Netzfrequenz} \times 2}{\text{Umdrehungszahl je Sekunde}} = \text{Anzahl der Striche.}$$

Die Netzfrequenz wird immer mit 2 multipliziert, weil in der Sekunde zwei Höchstwerte an Helligkeit vorkommen. Wenn Sie wissen wollen, mit wievielen Strichen Sie einen scheinbaren Stillstand bei 20 Umdrehungen auf der Scheibe erzielen können, dann rechnen Sie

$$\frac{\text{Netzfrequenz} \times 2}{20} = 5 \text{ Striche.}$$

Die Erklärung des merkwürdigen Effektes der Räder in dem Westernfilm ist nun nicht mehr schwer. Beim Film erscheint rund 25mal in der Sekunde ein neues Bild. Zur größeren Flimmerfreiheit wird jedes Bild während des Stillstandes durch eine mechanische Einrichtung verdunkelt. Somit erhält man 50mal in der Sekunde Helligkeitswerte vermittelt. Wenn ein Rad z. B. 10 Speichen hat, kann man die Umdrehungszahl je Minute leicht ausrechnen:

$$\frac{\text{Bildfrequenz} \times 2 \times 60}{\text{Speichenzahl}} = \text{Umdrehung je Minute.}$$

Wir setzen die Werte ein: $\frac{25 \times 2 \times 60}{10} = 300$ U/min.

Bei geringerer Umdrehungszahl dreht sich das Rad scheinbar rückwärts, bei größerer Umdrehungszahl dagegen langsam vorwärts. Die Abb. 15, Tafel 8 zeigt die Versuchsanordnung. Die mit 8 Speichen bzw. Strichen versehene Scheibe wird mit einem kleinen Elektromotor angetrieben, der aus Teilen des Kosmos-Junior-Elektrotechnik (mit dem man interessante Versuche durchführen kann) zusammengebaut wird. Der Motor kann mit dem Stromversorgungsgerät oder einer Batterie betrieben werden. Zur Geschwindigkeitsregelung benützt man ein Drehpotentiometer 50 Ω/2,5 W, das einfach als Vorwiderstand in die Stromzuführung geschaltet wird.

15.7 Licht erzeugt Strom

Die Zeit, in der man für einen einfachen Taschenrechner etwa den gleichen Betrag wie für einen Volkswagen zahlen mußte, liegt noch nicht allzu lange zurück. Unsere Schnellebigkeit, der rasche Ablauf der Entwicklungsphasen und vor allem die millionenfache Fertigung führten zu einem Preisrückgang, der es ermöglichte, daß heute bereits Kinder derartige Kleincomputer besitzen. Es wäre wünschenswert, daß der Entwicklungsverlauf für die Solarzellen, die bei einfallendem Licht einen Strom abgeben, Ähnlichkeiten aufweist, damit auch auf diesem Gebiet eine Preisreduzierung erfolgen kann.

Neue Entwicklungen der Firmen AEG-Telefunken und Wacker-Chemitronic lassen erkennen, daß in absehbarer Zeit elektrische Energie aus Sonnenlicht für DM 1,– bis DM 2,– pro Watt angeboten werden kann. Das Ausgangsmaterial einer Solarzelle ist ganz reines Silizium. Das Rohsilizium wird aus Quarzsand und Kohle im Lichtbogen-Schmelzverfahren in großen Mengen hergestellt und als Legierungsmaterial in der Stahl- und Aluminiumindustrie verwendet. Viele Verfahrensschritte sind erforderlich, um vom Rohmaterial zur Solarzelle zu kommen.

Die Grundform dieser Zellen sind runde Scheiben mit einem Durchmesser von 3 . . . 4 Zoll und 0,3 . . . 0,5 mm Stärke. Ihre besonders spröde und bruchempfindliche Beschaffenheit verlangt eine äußerst sorgfältige Behandlung. Bei einem Wirkungsgrad von etwa 12 % gibt eine Zelle bei senkrecht einfallendem Licht eine Leerlaufspannung von ca. 0,5 V ab, die bei Belastung auf etwa 0,35 V abfällt. Die Stromentnahme ist abhängig von der Zellenabmessung. Je mehr Fläche bei gleichbleibender Bestrahlung zur Verfügung steht, um so mehr Strom kann entnommen werden. Nach einem Katalog-Angebot der Fa. Völkner-electronic liefert eine Zelle mit einem Durchmesser von 56 mm 0,5 V/max 550 mA, ein anderer Typ mit einem Durchmesser von 75 mm 0,5 V/max 1,1 A. Das sind schon recht beachtliche Leistungen, die sich durch Serien- und Parallelschaltungen noch wesentlich verbessern lassen.

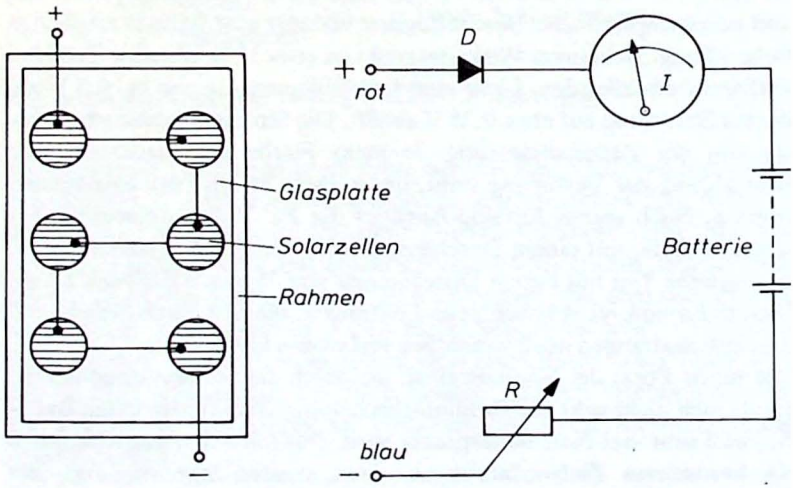
Die runde Form der Siliziumzellen, die durch die Fertigung bedingt ist, eignet sich nicht sehr zur Zusammenschaltung einer regelrechten Batterie, weil sehr viel Platz beansprucht wird. Das reine Silizium wird durch ein besonderes Ziehverfahren zu einem runden Stab verformt, der

anschließend in runde dünne Scheiben zersägt wird. Es werden im Fachhandel (Völkner) jedoch auch rechteckige Zuschnitte angeboten, die aber wesentlich teurer sind.
Radio-RIM bietet statt voller Scheiben Segmente an, die durch ihren günstigen Preis dem Bastler die Möglichkeit geben, sich in der Solar-Technik zu betätigen. Die Leistung dieser Segmente ist aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich. Nennspannung ca. 450 mV:

Größe	*I max*
100 mm^2	25 mA
560 mm^2	110 mA
1130 mm^2	220 mA
1962 mm^2	400 mA

Da eine Solarzelle nur bei maximaler Sonnenbestrahlung eine optimale Stromenergie abgibt, kann sie in unseren Breitengraden nur ziemlich beschränkt eingesetzt werden. In sonnenarmen Ländern wird die Solarzelle deshalb vorzugsweise nur zur Aufladung von Batterien verwendet. Das Experimentieren mit Solarzellen, einem Bauelement der Zukunft, ist sehr interessant und verschafft einen guten Einblick in die Halbleiter-

Abb. 51 Eine Sonnenbatterie



technik. Abb. 51 zeigt den Aufbau einer Solarzellen-Batterie, der keine Schwierigkeiten bereitet.
Man fertigt zunächst einen flachen verwindungsfreien Holzrahmen an. Die Größe ergibt sich aus der Anzahl und dem Typ der verwendeten Zellen. Der Rahmen erhält einen Boden aus 6 mm starkem Sperrholz; sorgfältiges Verleimen ist zweckmäßig, damit ein stabiler Unterbau entsteht. An den Schmalseiten des Rahmens wird je eine Apparateklemme zur Spannungsentnahme befestigt. Der Fachhandel bietet farbige Klemmen an, und man sollte die Farbe Rot für den Plus- und Blau für den Minusanschluß verwenden. Kleine zusätzlich angebrachte Entlüftungslöcher sorgen für Luftzirkulation. Anschließend umgibt man die Holzkonstruktion mit einem feuchtigkeitsabweisenden Isolierlack; gut geeignet hierfür ist Plastik-Spray-Kontakt 70.
Die nun folgende Arbeit muß recht behutsam ausgeführt werden, denn – wie schon erwähnt – die Zellen sind sehr bruchempfindlich. Da Siliziumzellen lötfähig sind, können Kontaktverbindungen untereinander hergestellt werden. Als geeignete Verbindung bewährt sich eine hochflexible Kupferlitze. Starre Kupferdrähte oder Lötfahnen eignen sich nicht. Die untere, also die dem Licht abgewandte Seite ist meistens metallisiert; sie bildet die Minusseite. Die obere Seite = Plusseite ist erkennbar durch ihren bläulichen Schimmer. Auf jede Seite wird nun je eine, einige Zentimeter lange Kupferlitze gelötet. *Achtung beim Löten! Keinen mechanischen Druck mit dem Lötkolben auf die Zellen ausüben und sie vor längerer Erwärmung schützen!*
Die vorbereiteten Zellen werden nun in den Holzrahmen geklebt. Hierfür eignen sich doppelseitige Klebestreifen, wie man sie beim Verlegen von Teppichböden verwendet, besonders gut. Die Schaltung der Zellen untereinander ist einfach. Man stellt eine Reihenschaltung her, indem man eine Minusseite mit der Plusseite der nächsten Zelle verbindet usw. Sind alle Zellen miteinander verbunden, so bleiben ein Plus- und ein Minusanschluß übrig, die polrichtig mit den Anschlußklemmen des Rahmens verbunden werden.
Eine nochmalige kritische Überprüfung der bisher vorgenommenen Arbeiten ist zweckmäßig, denn nunmehr wird der Rahmen mit einer Glasplatte abgedeckt. Eine dickere Ausführung ist dem gewöhnlichen Fensterglas vorzuziehen. Der Glasermeister, den man schon wegen des Glaszuschnittes benötigt, wird mit gutem Rat helfen. Die Glasplatte

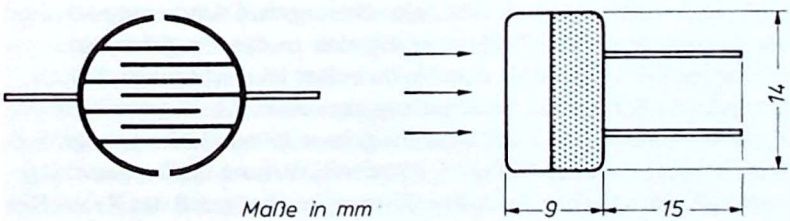
wird auf den Rahmen gelegt und an den Kanten entlang mit Klebestreifen befestigt. Damit ist die Sonnenbatterie fertig und einsatzbereit für interessante Versuche.
Abb. 51 zeigt, wie Nickel-Cadmium-Akkumulatoren zum Laden angeschlossen werden. Die Plusspannung der Solaranlage hat Verbindung mit der Diode D und geht weiter zum Gleichstrominstrument J und anschließend zum positiven Anschluß der aufzuladenden Batterie. Die Minusseite der Batterie wird über den Regelwiderstand R an die Minusklemme der Solarzellen angeschlossen. Fällt Licht auf die Solarzellen, so erfolgt sofort ein Stromfluß durch den Batteriestromkreis, den das Instrument J anzeigt. Als Meßinstrument genügt eine billige japanische Ausführung mit einem Meßbereich von 1 A. Bei kräftigem Sonnenschein kann der Ladestrom für die Batterien zu hoch sein. Ein Einregeln auf den gewünschten Wert ist mit dem Widerstand R möglich, dessen Wert 100 Ω/ 2 W beträgt. Dieser einmal eingestellte Wert muß natürlich mit den sich ändernden Lichtverhältnissen in Übereinstimmung gebracht werden. Auch bei nicht vorhandenem Sonnenlicht bringt das normale Tageslicht immer noch einen Stromfluß zustande, der ausreicht, um die Batterien zu laden. Die Diode D (1N 4148) verhindert eine Entladung der Nickel-Cadmium-Akkumulatoren, wenn kein Licht mehr auf die Solarzellen fällt. Der Strom kann nämlich die Diode immer nur in einer Richtung von Plus nach Minus durchfließen. Wäre die Diode nicht vorhanden, so würden die Akkumulatoren einen Strom durch die Solarzellen drücken und eine Aufladung wäre nicht mehr möglich.

15.8 Mit Licht kann man auch steuern

Rein praktisch betrachtet kann man die in Abb. 51 gezeigte Solaranlage in die große Reihe der Lichtsteuergeräte einordnen. Schaltet man nämlich an Stelle der Ladeeinheit ein Relais an die Solarzellen, so wird dieses Relais durch den durch Licht erzeugten Strom betätigt, und die Relaiskontakte führen alle nur denkbaren Schaltfunktionen aus. Der Aufwand lohnt sich jedoch nicht. Schon vom Kosten-Nutzeffekt her wird man davon absehen, sich nur für eine Relaissteuerung eine so aufwendige und kostspielige Anlage anzuschaffen.

Es gibt eine ganze Anzahl anderer lichtelektrischer Einrichtungen, z. B. Fotoelemente, Fotowiderstände, Fotodioden, Fototransistoren usw. Ein Fotowiderstand z. B. ist ein Widerstand, der seinen Wert bei Bestrahlung mit Licht ändert. Man nennt das den fotoelektrischen Effekt. Der Aufbau ist recht einfach: Auf einer keramischen Trägerplatte befindet sich eine aus Cadmiumsulfid bestehende Halbleiterschicht. Durch die Absorption von Strahlungsenergie werden in dem halbleitenden Material freie Ladungsträger erzeugt, die zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit führen. Dieses Verhalten haben alle Fotowiderstände gemeinsam, lediglich der Hell- und der Dunkelwiderstand können je nach verwendetem Typ unterschiedlich sein. Der Hellwiderstand stellt sich bei Beleuchtung des Fotowiderstandes ein. Er hängt außer von der Beleuchtungsstärke von der angelegten Spannung und der Farbe der Strahlung ab. Sein Wert liegt bei 75 . . . 300 Ω. Der Dunkelwiderstand stellt sich bei völliger Dunkelheit ein und kann bis zu 200 MΩ betragen. Dieses Verhalten macht den Fotowiderstand zu einem interessanten Bauelement. Man kann mit seiner Widerstandsänderung Stromkreise schalten und regeln, Spannungen modulieren, Beleuchtungsstärken, Farbunterschiede und Leuchtdichten messen. In dem Buch »Wir steuern mit Licht« (Telekosmos-Verlag, Stuttgart) findet sich Näheres darüber.
Leider hat der Fotowiderstand eine störende Eigenschaft, nämlich seine Trägheit. Ändert sich die Beleuchtungsstärke, so folgt er dieser Änderung nicht beliebig schnell. Zwar beginnt die Änderung sofort beim Wechsel der Beleuchtungsstärke, aber der neue Wert, der den geänderten Bedingungen entspricht, stellt sich erst nach einer bestimmten Zeit ein. Diese Zeit ist sehr von der Beleuchtungsstärke abhängig. Man kann diesen Nachteil durch geeignete Schaltmaßnahmen und vor allem durch

Abb. 52 Der Fotowiderstand LDR 03



die Einwirkung einer stark unterschiedlichen Lichtintensität ausgleichen.
Zu dem im folgenden Abschnitt beschriebenen Bau einer Lichtschranke verwendet man den Fotowiderstand LDR 03, dessen Hellwiderstand 75 Ω und dessen Dunkelwiderstand 10 MΩ beträgt. Gegebenenfalls läßt sich der LDR 03 durch die Typen LDR 05 oder LDR 07 ersetzen. Die geringen Unterschiede sind so bedeutungslos, daß man darauf nicht einzugehen braucht. Abb. 52 zeigt das Aussehen des Fotowiderstandes. Die mäanderförmige lichtempfindliche Schicht ist auf einer kleinen Scheibe untergebracht und mit einer Kunststoffkappe vor äußerer Einwirkung geschützt. Die Drahtanschlüsse ermöglichen ein direktes Einlöten in die Schaltung. Ähnlich wie beim Transistor ist auch beim Fotowiderstand Vorsicht beim Löten angezeigt.

15.9 Bau einer Lichtschranke

Eine Lichtschranke hat die Aufgabe, mit Hilfe eines Lichtstrahles irgendeine Anlage ein- oder auszuschalten. Man braucht hierfür den schon erwähnten Fotowiderstand, der unter dem Einfluß von Licht seinen Widerstandswert ändert. Durch diese Änderung kann man nun über einen Verstärker ein Relais steuern, dessen Kontakte ihrerseits die betreffende elektrische Anlage ein- und ausschalten. Mit solch einem Gerät kann man viele Versuche machen. Ordnet man z. B. eine derartige Lichtschranke rechts von einer Tür an, links davon eine Lichtquelle, so kann man zählen, wieviele Personen jeweils die Tür am Tag oder in der Stunde passieren. Jedesmal, wenn die Person den Lichtstrahl zur Lichtschranke unterbricht, gibt es einen Stromstoß im Relais, und wenn man das Relais mit einem Zähler koppelt, zählt dieser die Stromstöße und damit die Zahl der Personen, die die Tür passieren. Weiterhin lassen sich Lichtschranken als Einbruchsicherungen, Dämmerungsschalter usw. verwenden. Alles Nähere findet man in dem in Abschnitt 15.8 erwähnten Buch. Ich werde nun den Bau einer Lichtschranke erklären.
Betrachten Sie zunächst die Schaltung nach Abb. 53. In unbelichtetem Zustand hat der LDR, wie Sie bereits gelesen haben, einen sehr großen Widerstand, so daß im Transistor T1 kein Basisstrom fließen kann. Daraus folgt, daß auch der Transistor T2 stromlos bleibt und das Relais Rel

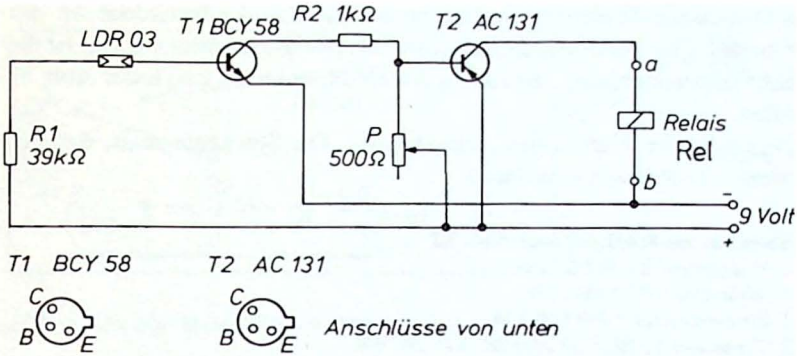


Abb. 53 Hochempfindliche Lichtschranke

in seiner Ruhelage verharrt. Nach Lichteinfall auf den LDR verursacht der sich verkleinernde Widerstand einen Stromfluß im Transistor T1, und der entstehende Kollektorstrom steuert über den Widerstand R2 nunmehr den Transistor T2. Der Kollektorstrom von T2 fließt durch die Magnetspule Rel, wodurch ein Magnetfeld entsteht, das den Anker anzieht. Der Anker bewirkt eine gleichzeitige Öffnung und Schließung mehrerer Kontakte, die verschiedene Schaltfunktionen auslösen können. Diese im Schaltbild nicht eingezeichneten Kontakte sind allerdings nur für einen begrenzten Strom und eine niedrige Spannung geeignet. Wer größere Ströme oder Spannungen steuern oder schalten will, dem sei das Kosmos-Netzsteuergerät Kosmodyne B empfohlen. An Stelle des Relais Rel kann dann an den Punkten a und b das Steuerrelais des Kosmodynes angeschlossen werden.

Dieses Kosmos-Netzsteuergerät Kosmodyne B ermöglicht, Starkstromgeräte (z. B. Lampen, Radios, Tonbandgeräte, Ventilatoren, Heizöfen usw.) für 220 V Wechselspannung bis zu 10 A völlig gefahrlos mittels Schwachstroms ein- und auszuschalten. Das geschieht über einen funkentstörten Magnetschalter. Solange dessen Wicklung von Schwachstrom (ca. 4 V, 70 mA), z. B. aus einer Taschenlampenbatterie oder einer elektronischen Steuerschaltung, gespeist wird, zieht sein Anker an, und der über ein Isolierstück mit ihm verbundene Starkstromschalter ist geschlossen. Das Kosmos-Netzsteuergerät läßt sich mit Netzkabel in jede normale Schuko-Steckdose stecken; den Netzstecker des anzu-

schließenden Starkstromgerätes nimmt die Schuko-Steckdose an der Oberseite des Netzsteuergerätes auf. Das zweiadrige dünne Kabel ist die Schwachstromleitung, die zu den Anschlußpunkten a und b der Abb. 53 führt.

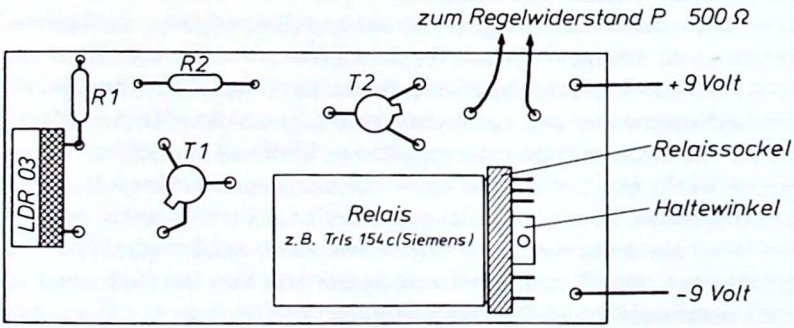
Nun folgt der Aufbau der Lichtschranke. Die Stückliste zeigt, daß nur wenige Teile benötigt werden.

Stückliste zur Schaltung nach Abb. 53

1 Widerstand R1 39 kΩ/¼ W
1 Widerstand R2 1 kΩ/¼ W
1 Potentiometer P 500 Ω/0,1 W
1 Transistor T1 BCY 58 oder BC 107, BC 108
1 Transistor T2 AC 131 oder AC 153
1 Fotowiderstand LDR 03 oder LDR 05, LDR 07
1 Relais Rel z. B. Tris 154 C Siemens
1 Relaissockel
1 Montageplatte
1 Gehäuse nach eigener Wahl
sowie div. Kleinmaterial, Schalter, Batterie usw.

Entsprechend Abb. 54 ordnet man die Teile auf einer Montageplatte mit den Abmessungen 100 × 45 × 1,5 mm an. Man kann dazu eine handelsübliche Rasterplatte oder eine ungebohrte Pertinaxplatte verwenden. Die Relaisfassung wird mit einem Haltewinkel auf der Montageplatte befestigt. Kleine handelsübliche Lötstifte, die man in die Platte einnietet, dienen als Lötstützpunkte. Das Potentiometer P schließt man mit

Abb. 54 Anordnung der Teile auf der Montageplatte



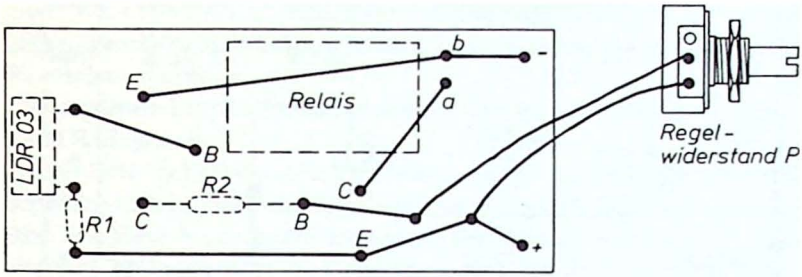


Abb. 55 Die Montageplatte von unten gesehen

einer kurzen flexiblen Leitung an. Die Anschlüsse für die Batteriespannung sowie die Arbeits- und Umschaltkontakte werden mit längeren Leitungen versehen, die später, beim Einbau in das Gehäuse, zu Buchsen führen. Die Verdrahtung der Bauelemente nimmt man auf der Unterseite der Montageplatte vor. Sie ist, wie Abb. 55 zeigt, einfach durchzuführen.

Nun beginnt der Einbau in das Gehäuse. Durch Lösen von 4 Schrauben entfernt man die Bodenplatte, auf der die Lichtschranke befestigt wird. Am Gehäuse bringt man in Höhe des LDR eine etwa 5 mm große Bohrung an, damit das Licht auf den Fotowiderstand fallen kann. Weitere Bohrungen zur Aufnahme von Buchsen und eine Bohrung für das Potentiometer können an beliebiger Stelle untergebracht werden. Mit dem Potentiometer P kann man die Ansprechempfindlichkeit einstellen. Je kleiner man die Widerstandswerte wählt, um so größer muß die Belichtung des LDR zur Relaisbetätigung sein.

Abb. 21, Tafel 11 zeigt die Lichtschranke fertig zum Einbau in das Gehäuse und Abb. 28, Tafel 15 das praktische Kosmodyne B.

Das schrittweise Eindringen in das interessante Gebiet der Elektrotechnik befähigt den jungen Praktiker immer mehr, Vor- und Nachteile von Schaltungen zu erkennen. Er möchte deshalb mehr Schaltungen kennenlernen. Abb. 56 zeigt daher eine weitere Lichtschrankenschaltung, die so empfindlich ist, daß sie das Glimmen einer Zigarette im verdunkelten Raum anzeigt. Die Anordnung enthält eine Schmitt-Trigger-Schaltung mit den Transistoren T1 und T2. Dieser Schmitt-Trigger schaltet bei ganz definierten Spannungswerten an seinem Eingang um,

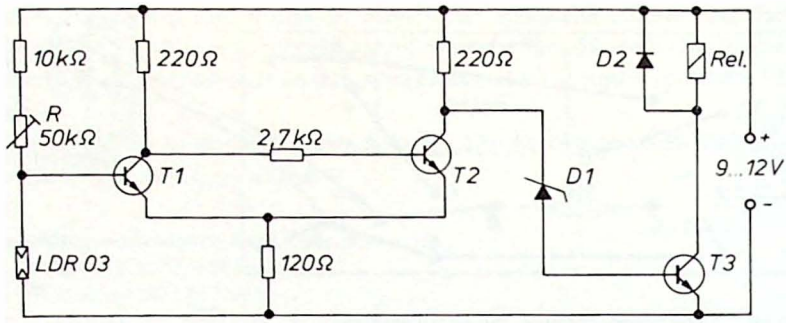


Abb. 56 Lichtsteuerschaltung mit Schmitt-Trigger

Stückliste zu Abb. 56
T1 = BC 107
T2 = BC 184 oder ähnlich
T3 = 2N1613
Diode 1 = ZD 12
Diode 2 = 1N4148 od. 4152

so daß ein allmählicher Übergang vom eingeschalteten in den ausgeschalteten Zustand entfällt. Solange der Fotowiderstand LDR 03 eine bestimmte Mindest-Beleuchtungsstärke erhält, ist die Basis von T1 noch zu negativ, um den Schmitt-Trigger zum Umkippen zu veranlassen (in diesem Zustand ist T1 nichtleitend, T2 dagegen leitend). Wegen des Spannungsabfalles am Kollektorwiderstand von T2 wird die Zenerspannung der Diode D1 noch nicht überschritten. Sie bleibt infolgedessen nichtleitend und der Schalttransistor T3 bleibt stromlos. Sobald jedoch die Beleuchtungsstärke einen bestimmten Mindestwert unterschreitet, wird die Basis von T1 positiv genug, um das Umkippen des Schmitt-Triggers auszulösen. Dann wird T1 leitend, T2 nichtleitend und nunmehr reicht die Spannung am Kollektor aus, um die Zenerspannung von D1 zu überschreiten. Die Basis von T3 erhält jetzt ein ausreichend positives Potential, und dieser Transistor schaltet in seinem Kollektorkreis ein Relais ein. Die Zenerdiode hat den Vorteil, den Basisstrom von T3 genügend zu begrenzen. Dadurch kann z. B. der Kollektorstrom von T3

einen Wert von 1 A nicht überschreiten. Die Diode D2 dient zum Schutz gegen Überlastungsspitzen, die beim Abschalten der Spannung an der Relaisspule auftreten.
Die maximale Empfindlichkeit der Schaltung wird mit dem Regelwiderstand R eingestellt.
Auch diese Schaltung bereitet beim Aufbau keine nennenswerten Schwierigkeiten, insbesondere dann, wenn man als Bauteileträger die stets bewährte Rasterplatte anwendet. Die Bauteile sollte man – auch wenn es Mühe bereitet – so anordnen, daß auf der Unterseite kreuzungsfreie Schaltverbindungen durchgeführt werden können. Das ist eine gute Übung und eine Vorbedingung zum Erlernen der Leiterplattentechnik, die auch in der allgemeinen Elektrotechnik einen großen Anwendungsbereich hat. Über Leiterplatten und deren Selbstbau informiert das »Neue Bastelbuch für Radio und Elektronik« vom gleichen Verfasser (Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart).

16. Magnetismus und Elektromagnetismus

16.1 Magnete durch Ströme

Wohl jeder hat schon einen Magnet in der Hand gehabt und sich über dessen Anziehungskraft gewundert.
Dieses geheimnisvolle Etwas, das wir nicht sehen und nicht fühlen können, hängt eng mit der Elektrizität zusammen. Ein magnetischer Stoff hat in seinem Inneren eine ganz besondere Beschaffenheit. Die kleinen Bauteile, die sog. Moleküle, aus denen der Stoff besteht, wirken alle in der gleichen Richtung und üben dadurch nach außen hin Anziehungskräfte aus. Bei nichtmagnetischen Stoffen ist das anders. Die Einzelkräfte ihrer Moleküle heben sich im Inneren des Stoffes auf, so daß sie nach außen hin gar nicht zutage treten.

Die magnetische Wirkung der Elektrizität wurde bereits in Abschnitt 3.5 besprochen. Man kann also bekanntlich den Magnetismus nach Belieben verschwinden und auftreten lassen, einfach dadurch, daß man den betreffenden Stromkreis öffnet und schließt. Die Stärke (Tragfähigkeit, Anziehungskraft) eines Elektromagneten hängt von der Stärke des die Wicklung durchfließenden Stromes und von der Anzahl der Windungen ab, die die Wicklung besitzt. Die Kenntnis dieser Tatsache ermöglicht es, Elektromagnete verschiedener Stärke zu bauen, indem man der Wicklung eines Eisenkerns mehr oder weniger Windungen gibt. Allerdings nimmt die Stärke eines Elektromagneten nicht unbegrenzt mit der wachsenden Stromstärke zu. Vielmehr tritt schließlich die sog. magnetische Sättigung ein, ein Zustand, in dem der Magnetismus des Eisenkerns seinen höchsten Wert erreicht hat. Zu beachten ist, daß sich weiches Eisen und harter Stahl bei der Magnetisierung verschieden verhalten. Weiches Eisen läßt sich sehr leicht, harter Stahl dagegen nur schwer magnetisieren. Dafür verliert das Eisen seinen Magnetismus sofort wieder, sobald der Magnetisierungsstrom ausgeschaltet wird, während der Stahl den einmal angenommenen Magnetismus auch nach dem Aufhören des Magnetisierungsstroms behält. Man sagt: Weiches Eisen wird nur zeitweise oder temporär magnetisch, harter Stahl dagegen dauernd oder permanent. Für Elektromagnete, deren Magnetismus beim Öffnen des Stromes wieder verschwinden soll, darf man infolgedessen nur weiches Eisen verwenden.

16.2 Dauermagnete

Schon im Altertum war der Magnetstein, benannt nach der Stadt Magnesia in Kleinasien, als natürlicher Magnet bekannt. Der Magneteisenstein kann anziehen und festhalten. Es gibt auch künstliche Magnete aus Stahl, die die gleiche Eigenschaft haben.
Diese künstlich hergestellten Magnete haben heute eine sehr große Bedeutung. Man denke zum Beispiel nur an die zahlreichen Lautsprechertypen, die alle mit einem permanenten Magneten ausgerüstet sind. Die Güte eines Lautsprechers hängt in erster Linie von der magnetischen Leistung ab und die Industrie bemüht sich ständig, durch kompliziert aufgebaute Metallegierungen die Güte von Magnetstoffen zu ver-

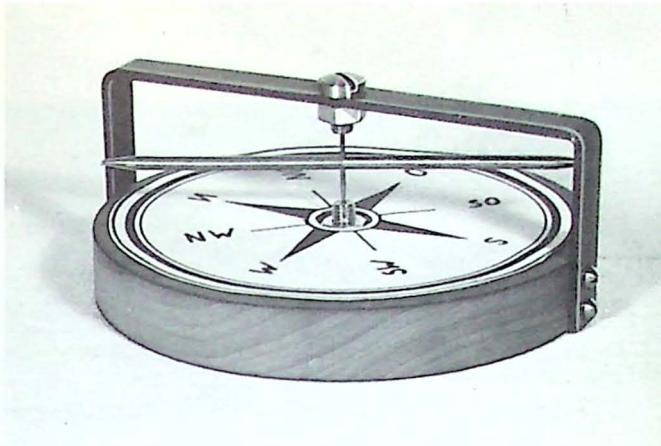


Abb. 20: Der Kompaß

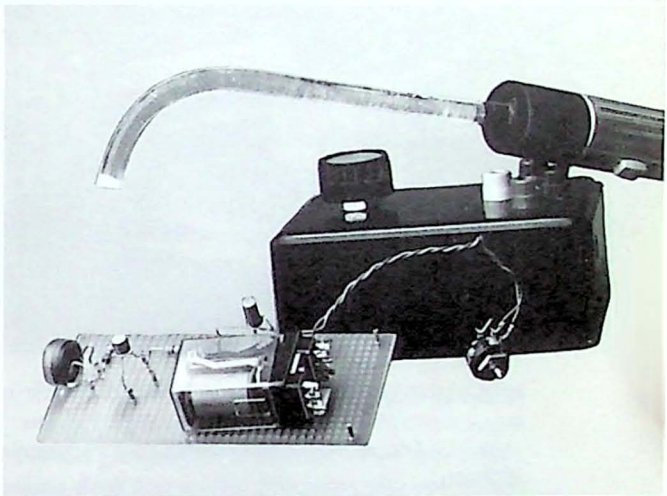


Abb. 21: Die Lichtschranke, fertig zum Einbau in das gehäuse und Ansicht des Lichtumlenkers

Tafel 11

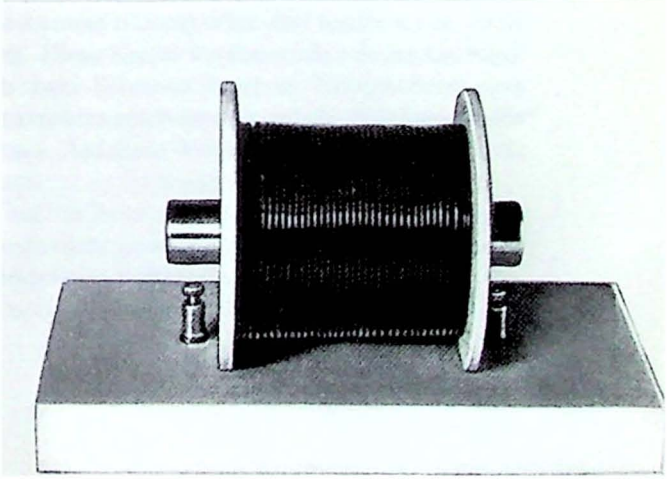
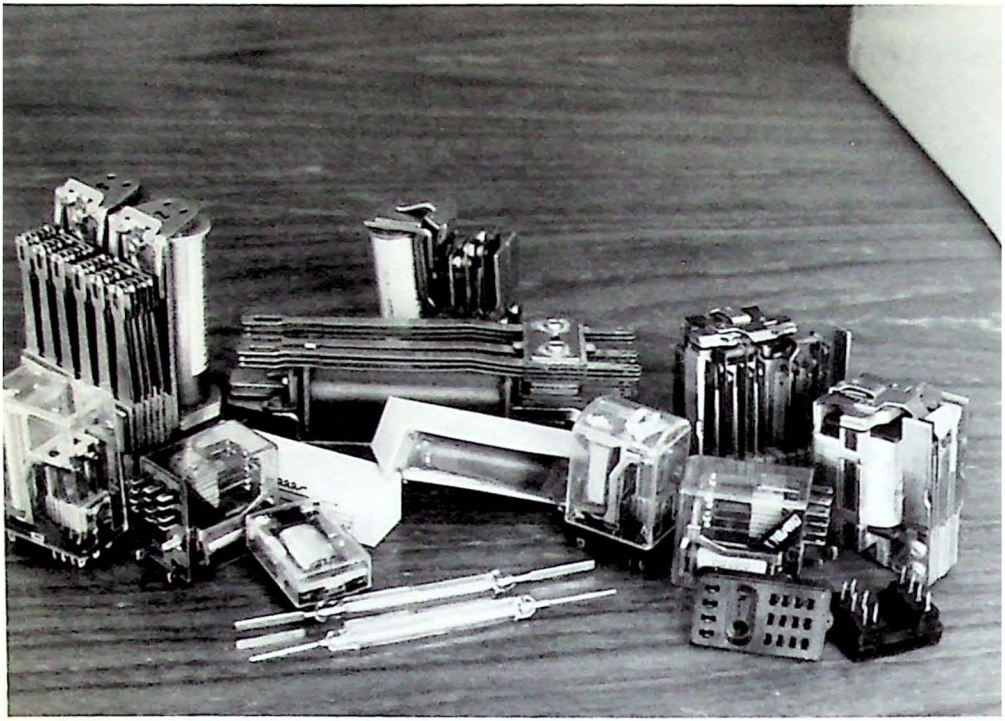


Abb. 22: Der Elektromagnet



Tafel 12

Abb. 23: Diverse Relais (sie werden vom Fachhandel als Sonderangebote billig geliefert)

bessern. Die am meisten verwendeten Magnetwerkstoffe bestehen aus Kobalt-Mangan-Stahl, Aluminium-Nickel-Kobalt-Stahl, Triconal und Permanit. Diese Werkstoffe befähigen die Lautsprecherindustrie, hochwertige Produkte herzustellen.
Auch im Haushalt findet der permanente Magnet eine vielseitige Anwendung. Kühlschränke, Schranktüren, Barfächer sind mit Magnetverschlüssen ausgerüstet, die geräuschlos und zuverlässig arbeiten.
Eine Sonderstellung nimmt die Magnetbandtechnik ein; jedoch handelt es sich auch hier um magnetische Kräfte von großer Bedeutung.

16.3 Elektromagnete

Ohne elektromagnetische Kraft hätte es kein elektrotechnisches Zeitalter gegeben. Die von Werner von Siemens erfundene Dynamomaschine brachte den Durchbruch. Es gibt unzählige Gebiete im Bereich der Elektrotechnik, die irgendwie mit dem Elektromagnetismus in Verbindung stehen. Wir können im Rahmen dieses Buches leider nur Teilbereiche zeigen und beginnen mit dem Selbstbau eines Elektromagneten.
Die Herstellung ist einfach. Ein Hartpapierrohr, erhältlich unter der handelsüblichen Bezeichnung Pertinaxrohr, in Verbindung mit zwei kreisrunden Seitenscheiben ergibt den Wickelkörper für die Magnetspule.
Man beschafft sich ein Pertinaxrohr mit 20 mm Durchmesser. Die Wandstärke soll etwa 1 mm betragen. Es genügt eine Länge von ungefähr 70 mm. Auf ein genügend großes Sperrholzbrett von 6 mm Stärke (es kann natürlich auch eine 3–4 mm starke Pertinaxplatte verwendet werden) zeichnet man mit einem Bleistiftzirkel zwei Kreise mit je einem Durchmesser von 75 mm. Diese Kreise werden exakt mit der Laubsäge ausgesägt, so daß sich zwei Scheiben ergeben. Entsprechend dem Durchmesser des Pertinaxrohres zeichnet man auf die Scheiben wieder zwei Kreise und sägt sie aus. Auf diese Weise erhält man zwei Ringe, die man Spulenflansche nennt.
Beide Flansche müssen auf das Rohr aufgeschoben werden und ziemlich stramm festsitzen. Hat man nicht genau genug gearbeitet, so müssen die Flansche mit einer Halbrundfeile nachgebessert werden.
Die Flansche müssen noch mit Schmirgel- oder Sandpapier sauber

geglättet und die Kanten verrundet werden, damit später beim Wickeln das Einlaufen des Drahtes ungestört vonstatten geht.
Für die Herausführung des Wickeldrahtes bringt man pro Flansch je eine etwa 2 mm große Bohrung an.
Wichtig ist, daß die Flansche auf dem Rohr gut verklebt werden, denn beim Wickeln entsteht ein großer Seitendruck, und die Wicklung fällt, falls einer der Flansche nicht hält, auseinander. Um die fertige Spule bequem auf einem Grundbrettchen befestigen zu können, feilt man an jeden der beiden Flansche eine kleine Fläche an.
Diese beiden Flächen müssen genau gleich groß sein und unbedingt in einer Ebene liegen, damit die Spule nicht windschief auf dem Grundbrettchen steht. Die geforderte Genauigkeit läßt sich sehr leicht erreichen: Auf eine vollkommen ebene Unterlage, z. B. eine Tischplatte, legt man einen großen Bogen Schmirgelpapier. Nun faßt man den Spulenkörper mit der rechten Hand und schleift damit vorsichtig auf dem Schmirgelpapier auf und ab.
Sind alle diese Vorarbeiten zufriedenstellend ausgefallen, beginnt man mit dem Wickeln der Spule. Hierfür werden 0,8 . . . 1 mm starken lackierten Kupferdrahtes benötigt. Es genügt, wenn man sich davon etwa 200 m beschafft. Zum Wickeln braucht man eine Handbohrmaschine, ferner eine etwa 150 mm lange 6-mm-Gewindestange, zwei 6-mm-Gewindemuttern und zwei Beilagscheiben.
Die Gewindestange spannt man nun fest in die Bohrmaschine ein und diese selbst in den Schraubstock. Die Antriebskurbel der Maschine muß dabei oben liegen, damit sie bequem bedient werden kann. Die Gewindestange dient als Aufspanndorn. Zuerst schraubt man eine 6-mm-Gewindemutter auf, dann folgt eine Beilagscheibe und dann erst wird der Spulenkörper aufgesteckt. Nun folgt wieder ein Beilagscheibchen und schließlich die zweite Gewindemutter. Beide Gewindemuttern werden gegeneinander verschraubt, bis die ganze Einheit fest auf der Gewindestange sitzt. Der Kupferdraht wird nun mit einem Ende durch den Flansch geführt, etwa 10 cm lang herausgezogen und einige Male um die Gewindestange gewickelt. Dann kann das Aufspulen beginnen. Mit der linken Hand führt man den Draht, und mit der rechten Hand betätigt man die Kurbel. Wichtig ist, daß sich jede Windung sauber neben die nächste legt.
Durch anfängliche Mißerfolge darf man sich keineswegs entmutigen las-

sen; mit etwas Geduld werden Sie bald geschickte Spulenwickler. Im ganzen müssen 1000 Windungen auf den Spulenkörper gewickelt werden, es heißt also mitzählen. Der Spulenkörper muß sich 1000mal um seine Achse drehen, dann erst ist die Wickelarbeit beendet. Das Ende des Kupferdrahtes wird durch ein Seitenloch des Flansches gesteckt und nochmals hindurchgeführt. Dadurch wird verhindert, daß sich der Draht selbständig macht und von dem Spulenkörper abrollt.

Mit dem Wickeln der Spule haben Sie einen Großteil Ihrer Arbeit erledigt. Nun wird ein kleines Grundbrettchen als Sockel für die Spule angefertigt. Es besteht aus einem Weichholzbrett mit den Abmessungen 160 × 85 × 20 mm. Die Schnittstellen und die ebenen Seitenflächen bearbeitet man säuberlich mit Schmirgelpapier, damit das Brettchen gefällig aussieht. Die Spule wird nun auf die Mitte des Grundbrettchens geklebt. Ist der Klebstoff gut ausgetrocknet und haben Sie sich von der Haltbarkeit überzeugt, dann beginnt der Zusammenbau des ganzen Elektromagneten. Anfang und Ende der Spule werden sauber abisoliert. Hierfür verwendet man ein kleines Stückchen Schmirgelpapier, mit dem man vorsichtig den Lack abschabt. Die blanken Enden der Wicklung werden unter zwei Klemmschrauben, die dicht neben der Spule angebracht wurden, befestigt.

Damit ist auch die Frage der Spannungszuführung gelöst. Man benötigt nun noch einen Weicheisenkern, um die Kraft des Magneten anschaulich vor Augen zu führen. Bei einem Eisenwarenhändler oder Schlosser kauft man ein Stückchen Rundeisen mit den Abmessungen von 95 × 18 mm. Wohlgemerkt, es muß Eisen sein, Stahl ist für den Versuch nicht brauchbar. Das Rundeisenstück wird mit der Feile an seinen beiden Stirnflächen schön eben gefeilt und nachher mit Schmirgelleinen sauber blank geschliffen. Ist das geschehen, dann fettet man das Stück mit Öl oder Vaseline etwas ein, damit es nicht rostet.

Der Elektromagnet, dessen Aufbau Abb. 22, Tafel 11 deutlich erkennen läßt, ist betriebsbereit. Als Stromquelle verwendet man einen Akkumulator, dem längere Zeit hindurch Strom von etwa 1 bis 2 Ampere entnommen werden kann*. Nun kann eingeschaltet werden. – Halt! Steht zufällig eine Uhr auf dem Werktisch oder tragen Sie eine Armbanduhr,

* Selbstverständlich kann auch das auf S. 84 ff. beschriebene Stromversorgungsgerät verwendet werden, wenn kein geeigneter Akkumulator zur Verfügung steht.

so müssen diese vor dem Einschalten unbedingt aus dem Bereich des Elektromagneten entfernt werden. Der in Betrieb genommene Elektromagnet strahlt nämlich nach allen Richtungen magnetische Kraftlinien aus, welche die Stahlfeder und Stahlteile der Uhr magnetisieren. Die Folge davon wäre eine Ungenauigkeit der Uhr.

Wenn man den Eisenkern in die Durchbohrung der angeschlossenen Spule führt, dann merkt man, wie gewaltig die magnetische Kraft an dem Eisenkern zerrt. Ja, man muß sogar darauf achten, daß der Eisenkern nicht aus der Hand gerissen wird. Läßt man ihn los, dann wird der Eisenkern so schnell angezogen, daß er fast aus dem anderen Ende der Öffnung wieder herausfliegt. Zum großen Erstaunen wird der Kern sofort wieder festgehalten. Man hat den Eindruck, als ob der Eisenkern federnd im Hohlraum beharren möchte.

Es soll zunächst dieses geheimnnisvolle Geschehen etwas näher ergründet werden. Läßt man durch einen Draht elektrischen Strom fließen, so wird der Draht von einem magnetischen Feld umgeben. Die Kraftlinien verlaufen dabei kreisförmig um den Draht. Rollt man den stromdurchflossenen Draht zu einer Spule zusammen, so verlaufen die magnetischen Kraftlinien axial durch die Spule. Taucht man nun in diese Spule einen Eisenstab, so durchfließen ihn die Kraftlinien: der Stab wird dann zu einem Magneten. Wird nun der Strom durch die Spule unterbrochen, so verschwindet das elektromagnetische Feld der Spule, ebenso verliert der Eisenstab seine magnetische Kraft. Verwendet man nun statt des Eisens gehärteten Stahl, so tritt zunächst der schon bekannte Vorgang wieder auf. Nach Abschalten des Stromes behält jedoch der Stahl seinen Magnetismus bei. Das Stahlstück wird für dauernd magnetisiert. Auf diese Weise stellt man, wie schon erwähnt, kräftige Dauermagnete her. Elektromagnete leisten jedoch weitaus mehr als Dauermagnete.

Wie bei jedem Dauermagneten stellen sich auch beim Elektromagneten, der mit Gleichstrom betrieben wird, zwei Pole ein. Wenn man den Elektromagneten mit Wechselstrom betreibt, dann vertauschen sich die beiden Pole fortwährend (ca. 100mal in der Sekunde), weil ja hier der Strom auch dauernd seine Richtung wechselt. Der folgende Versuch mit der Kompaßnadel kann dann natürlich die Polarität nicht zeigen! Um den Süd- und den Nordpol des Elektromagneten bestimmen zu können, bringt man einen kleinen Taschenkompaß in die Nähe der stromdurchflossenen Spule. Auch der auf S. 175 ff. beschriebene Kompaß läßt sich

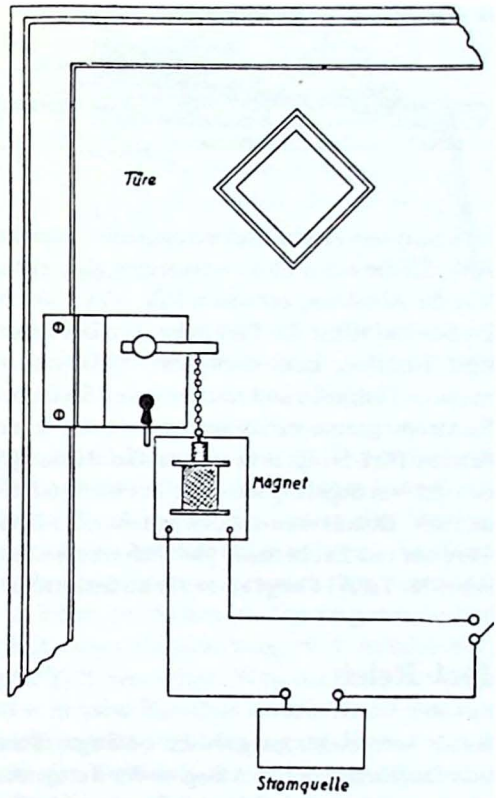


Abb. 57 Der Elektromagnet als Türöffner

gut verwenden. Die Magnetnadel wird dann sofort aus ihrer Ruhelage abgelenkt und zeigt an, welchen Pol man gerade vor sich hat. Bei handelsüblichen Kompassen zeigt die blaugefärbte Spitze stets nach Norden. Zeigt diese in Richtung zur Magnetspule, dann ist der betreffende Teil der Spule der Nordpol, der andere dagegen der Südpol. Bitte merken Sie sich das Gesetz: Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an. Die Kompaßnadel, die stets nach Norden zeigt, ist also südpolmagnetisch und wird deshalb vom Nordpol der stromdurchflossenen Spule angezogen.

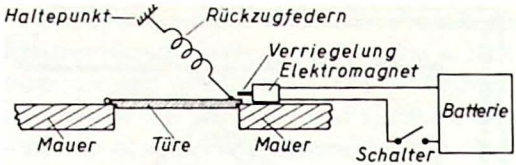


Abb. 58 Ein selbsttätiger Türöffner

Was man mit einem Elektromagneten alles anfangen kann, zeigt z. B. Abb. 57, die einen Elektromagneten als elektrischen Türöffner darstellt. Wie die Abbildung erkennen läßt, öffnet sich beim Schließen des Stromkreises von selbst die Türklinke. Ein besonders wirkungsvoller selbsttätiger Türöffner kann nach Abb. 58 gebaut werden. Man entfernt die normale Türklinke und setzt an deren Stelle einen Riegel, der von einem Elektromagneten zurückgezogen werden kann. In Richtung der aufgehenden Türe bringt man eine starke Rückzugfeder an, die beim Freigeben der Verriegelung die Türe mit mehr oder weniger großem Schwung aufreißt. Drückt man auf den Schalter des Elektromagneten, so wird die Türe wie von Zauberhand plötzlich weit geöffnet.
Abb. 26, Tafel 14 zeigt einen Elektromagneten bei der Arbeit.

16.4 Relais

Relais sind elektromagnetisch betätigte Schalter, deren Entwicklung und Einführung mit dem Beginn der Telegrafie und der Fernsprechtechnik eng verknüpft ist. In der Elektrotechnik hat das Schaltrelais auch heute noch einen breiten Anwendungsbereich, wenn auch die elektronischen Halbleiter-Bauelemente die Relaisanwendung in der Steuer- und Regeltechnik etwas einschränkten. Das vielfältige Relaisangebot in den Fachkatalogen allein ist schon Beweis dafür, daß ein Relais nicht ohne weiteres durch ein Halbleiter-Bauelement ersetzt werden kann. Die Entscheidung, wann und wie ein Relais in einer Schaltung verwendet werden soll, erfordert Kenntnisse, die man am besten praktisch erwirbt. Ein klein wenig Theorie kann dabei natürlich von Nutzen sein.
Am häufigsten werden die ungepolten Gleichstromtypen verwendet, denn hier ist die Stromrichtung in der Magnetwicklung ohne Einfluß auf die Funktion. Die Grundform eines ungepolten Relais (Abb. 59) besteht

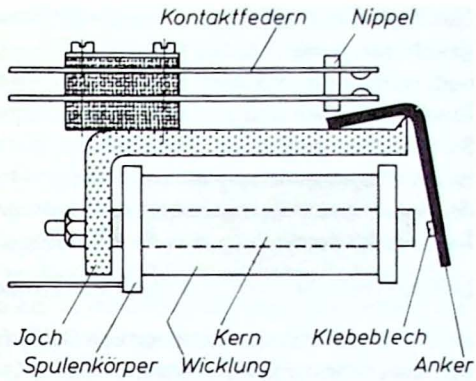


Abb. 59 Grundform des Aufbaus bei einem magnetischen ungepolten Relais

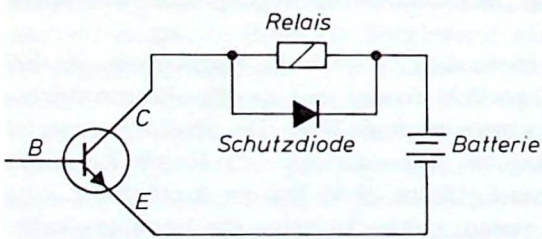
aus einem Weicheisenkern, der die Magnetspule trägt. Der in der Spule erzeugte magnetische Fluß verläuft über das Joch zum beweglichen Anker. Beide Teile bestehen ebenfalls aus Weicheisen, das durch ein besonderes Glühverfahren eine geringe Remanenz aufweist. Als Remanenz bezeichnet man den Restmagnetismus, der nach dem Abschalten des Spulenstromes noch im Eisen vorhanden ist. Der magnetische Fluß zieht den Anker an, der mit seiner Hebelwirkung die federnden Kontakte je nach Anordnung schließt oder öffnet. Wird der Strom der Spule abgeschaltet, fällt der Anker in seine Ruhelage zurück. Damit dies auch mit absoluter Sicherheit erfolgt, wird die Fallbewegung des Ankers von der zurückfedernden Kraft der Kontaktfedern unterstützt. Außerdem verhindert das nichtmagnetische, am Anker befestigte Klebeblech ein Festhalten am Kern.

Die meisten Relais mit den unterschiedlichsten Bauformen arbeiten nach diesem Prinzip. Es ist völlig gleichgültig, ob der Kontaktmechanismus durch Druck, Zug oder eine Drehbewegung zum Ansprechen gebracht wird.

Außer den Kontakten (siehe S. 117) spielt die Magnetspule, die bei Stromdurchgang ein Magnetfeld erzeugt und als eigentliche Antriebskraft betrachtet werden kann, eine große Rolle. Die Spulenspannung ist bei dem großen Relaisangebot sehr unterschiedlich. Es gibt Relais mit einem Arbeitsbereich von 6, 12 und 24 V. Bei der Anschaffung eines Relais muß man daher wissen, welche Spannung zur Verfügung steht.

Glücklicherweise sind die einzelnen Spannungsbereiche nicht exakt abgegrenzt, sondern haben fließende Übergänge, so daß ein 12-V-Relais ohne weiteres mit 9 V oder 15 V betrieben werden kann.
In sehr vielen Schaltungen wird die Relaisspule vom Kollektorstrom des Schalttransistors gespeist. Man muß also darauf achten, welche Leistung an der Magnetspule auftritt. Um diese zu ermitteln, benötigt man außer der Spulenspannung auch noch den Spulenwiderstand, der meistens am Relais aufgedruckt oder aus den Katalogangaben zu ersehen ist. Die Leistungsaufnahme läßt sich nach der Formel $N = \frac{U^2}{R}$ ermitteln und muß ungefähr mit der Leistung des Schalttransistors übereinstimmen, weil dieser sonst überlastet wird.
In Relaisschaltungen wird häufig parallel zur Magnetspule eine Diode geschaltet, siehe Abb. 60. Diese Diode schützt nicht das Relais, sondern den Schalttransistor und zwar aus folgendem Grund: Wird das Relais abgeschaltet, so entsteht in der Relaisspule eine Induktionsspannung, die entsprechend der Windungszahl beträchtlich sein kann. Man kennt den Vorgang aus der Kfz-Technik (Zündspule erzeugt an der Zündkerze einen starken Funken). Auch hier gibt es Spannungsquelle, Zündspule und Unterbrecherkontakt. Wird der Stromkreis unterbrochen, so baut sich in der Spule eine hohe Spannung auf, die über den Zündfunken einen Abflußweg zum Massepotential findet. Ähnliches gilt für die Relaisschaltung, bei der sich außerdem noch die Selbstinduktions- und die Batteriespannung, die zum Betrieb der Schaltung erforderlich ist, addieren. Diese am Kollektor anliegende Spannung ist zu hoch, es

Abb. 60 Die Schutzdiode für den Schalttransistor



kommt zu einem Kollektor-Emitterspannungs-Durchbruch, und der Transistor ist zerstört. Hier setzt nun die Aufgabe der Diode ein. Wenn beim Abschalten des Relais die Spannung am Kollektor plötzlich größer wird als das Pluspotential der Batterie, dann wird die Diode leitend und vernichtet die schädliche Induktionsspannung.

Beim Studium der Relaisangebote in den Katalogen fallen neue Begriffe wie Schaltspannung, Schaltstrom, Schaltleistung auf. Diese Angaben beziehen sich auf die Relaiskontakte, die zu den wichtigsten Bestandteilen des Relais gehören. Die Kontaktträger sind schmale, federnde, nichtmagnetische Metallstreifen. Je nach ihrer Konstruktion besteht das Material aus Federbronze, Hartmessing oder Neusilber. Auf diese Metallstreifen sind die Relaiskontakte genietet. Der Kontaktwerkstoff – auch dieser findet sich in den Katalogangaben – ist recht unterschiedlich und meistens teuer. Die Schaltleistung, die in engem Zusammenhang mit der Schaltspannung und dem Schaltstrom steht, hängt von der Beschaffenheit des Kontaktmaterials ab. Kleinstrelais, die z. B. häufig in elektronischen Schaltungen verwendet werden, haben meistens Gold-Nickel-Kontakte. Der niedrige Kontaktwiderstand dieses Materials ermöglicht das Schalten kleiner Ströme und Spannungen (10 µA . . . 10 mA, 1mV . . . 40 V). Das am meisten verwendete Kontaktmaterial ist Feinsilber. Damit lassen sich Ströme von 10 mA . . . 1 A und Spannungen von 9 V . . . 100 V schalten. Leider werden die Feinsilberkontakte im Laufe der Zeit etwas schwarz und kontaktunsicher. Eine gelegentliche Reinigung mit Kontaktspray ist daher zu empfehlen.

Höhere Spannungen und Ströme, die z. B. im Netzspannungsbetrieb auftreten, werden mit Hartmetallkontakten geschaltet. Diese bestehen aus Metallegierungen mit hohem Wolframanteil.

Ein interessanter Typ ist das Reed-Relais, das auf Grund der anspruchslosen Konstruktion bei höchster Betriebssicherheit immer mehr Anhänger in der Hobbytechnik findet. Wie Abb. 61 zeigt, sind in einem mit Schutzgas gefüllten Glasröhrchen zwei weichmagnetische Blattfedern eingeschmolzen. Der Schaltvorgang wird von außen durch einen Dauermagnet oder durch eine Magnetspule ausgelöst. Der Vorteil der Reed-Kontakte besteht in ihrer Unempfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen wie Staub, Feuchtigkeit usw. Um bei verschiedenster Belastung einwandfreie Kontaktgabe zu gewährleisten, sind die Kontaktzungen mit Kontaktmaterialien wie Rhodium, Silber, Wolfram oder Sonderlegie-

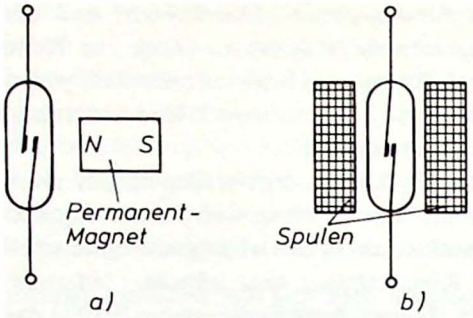


Abb. 61 Das Reed-Relais

a) Steuerung mit Dauermagnet
b) Steuerung mit Magnetspule

rungen belegt. Je nach Typ kann man Schaltströme von 0,01 A . . . 1 A steuern. Kleinstausführungen weisen Abmessungen von 19,6 × 6,4 mm auf. Die Schaltungen und die Magnetspule sind in einem Kunststoffgehäuse untergebracht und von außen mit genormten Anschlußkontakten beschaltbar. Abb. 62 zeigt als Beispiel die Anschlußbelegung eines Reed-Relais. Mit den beiden Schaltern kann je eine Spannung von 28 V bei 100 mA Strombelastung geschaltet werden. Die Spulenspannung liegt im Bereich von 8 . . . 14 V. Das Relais kann auf Grund der geringen Ansprechleistung von 120 mW mit normalen Kleintransistoren betrieben werden. Abb. 23, Tafel 12 zeigt Schaltrelais in verschiedenen Ausführungen.

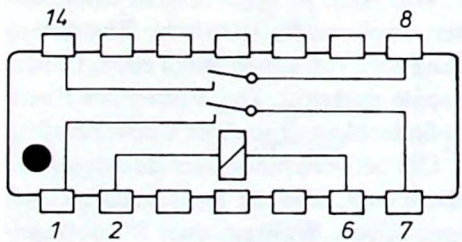


Abb. 62 Reed-Relais mit zwei Schaltkontakten und Magnetspule

17. Wirkungsweise von Dynamomaschinen und Elektromotoren

Taucht man einen stabförmigen Permanentmagneten in eine Spule, deren Enden miteinander verbunden sind, so entsteht in ihr im Augenblick des Hineintauchens ein elektrischer Strom. Ein ebensolcher Strom, jedoch in umgekehrter Richtung, wird beim Herausnehmen des Magneten erzeugt. Dieser Vorgang läßt sich sehr leicht nachweisen. Die Spulenenden der nach Abschnitt 16.3 gebauten Magnetspule werden an ein Meßinstrument angeschlossen, dessen Zeiger bei jeder raschen Bewegung des Stabmagneten ausschlägt. Aber nicht nur durch Auf- und Abwärtsbewegungen des Magneten entsteht in der Spule ein Stromstoß, sondern auch dann, wenn sich ein Pol des Magneten der Spule nähert. Denkt man sich z. B. den Stabmagneten quer in der Mitte durchbohrt, so daß er sich mit Hilfe eines Drehgestelles in kreisende Bewegung versetzen ließe, so würde durch die abwechselnde Annäherung des Nord- und Südpols an die Spule dauernd ein Strom erzeugt werden, der jedesmal seine Richtung ändert. Solch ein Strom heißt Wechselstrom. Auf den geschilderten Vorgängen beruht jeder Wechselstromerzeuger.

Ob nun die Spule fest und der Magnet drehbar angeordnet ist oder umgekehrt, ist gleichgültig. Der Magnet, dessen Feld zur Erzielung großer Ströme besonders stark sein muß, wird in den meisten Fällen fremderregt, ist also ein Elektromagnet. Die Spule ist auf einen Drehkörper, den man als Anker bezeichnet, gewickelt. Anfang und Ende der Spule sind an zwei Schleifringe geführt, die isoliert mit dem Anker auf einer gemeinsamen Achse sitzen. Zwei auf den Schleifringen liegende Stromabnehmer, die der Elektriker auch Bürsten nennt, leiten den während der Drehbewegung entstehenden Strom zum Verbraucher. Auf der gleichen Achse sitzt außerdem noch ein Antriebsrad, das mit einer Antriebskraft, d. h. einer Dampfmaschine, einem Elektromotor, einer Wasserturbine usw. verbunden ist. Abb. 63 zeigt die grundsätzliche Anordnung einer solchen Wechselstromdynamomaschine.

Die beiden Schenkel S_1 und S_2 sind mit der Erregerspule zusammenmontiert. Schickt man in die Anschlüsse 1 und 2 elektrischen Strom, so

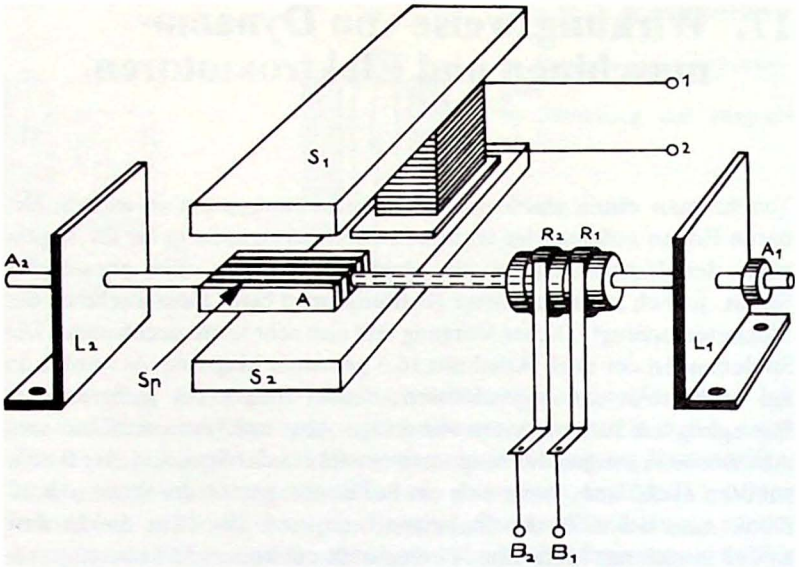


Abb. 63 Anordnung einer Wechselstromdynamomaschine

entsteht, wie Sie schon wissen, ein magnetisches Feld. Das magnetische Feld ist um so größer, je größer der hineingeschickte Strom und je größer die Windungszahl der Erregerspule ist. In der Mitte der beiden Schenkel ist eine in den Lagern L_1 und L_2 ruhende Achse A_2 angebracht, auf der sich der Anker A befindet. Auf dem Anker ist die Spule Sp befestigt, deren Anfang und Ende mit den Schleifringen R_1 und R_2 verbunden sind. Die Stromabnehmer B_1 und B_2 haben Kontakt mit den Schleifringen und dienen zum Anschluß an den Verbraucher. Wird das Antriebsrad A_1 angetrieben, so bewegt sich die Spule innerhalb des magnetischen Kraftfeldes. Dadurch wird in der Spule eine elektrische Spannung hervorgerufen, ein Vorgang, den man als Induktion bezeichnet.

Die auf diese Weise erhaltenen Ströme unterscheiden sich allerdings wesentlich von denen, die eine galvanische Batterie liefert, denn unsere Maschine liefert Strom, der seine Richtung und Stärke fortwährend ändert. Der Nordpol des Feldmagneten beeinflußt nämlich die ihm

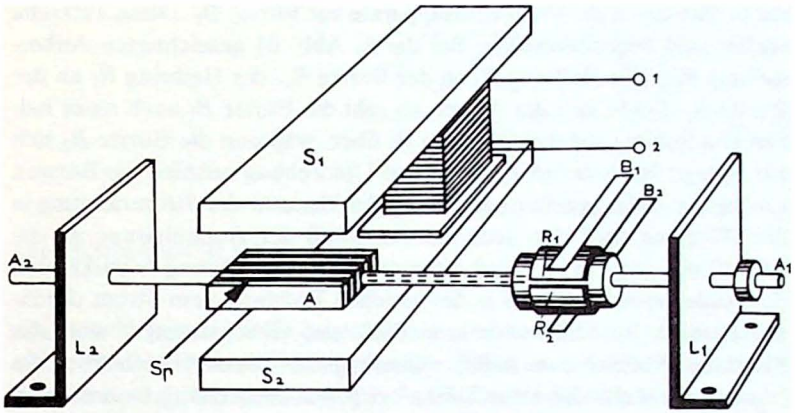


Abb. 64 Zur Wirkungsweise des Kollektors

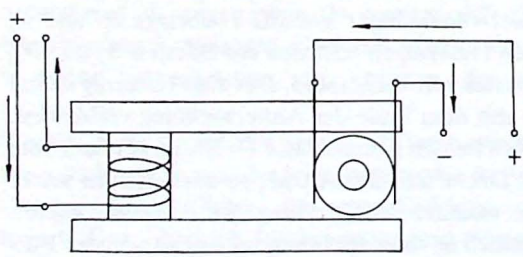
gegenüberliegenden Drähte der Wicklung entgegengesetzt wie der Südpol. Fließt beispielsweise der Strom in der Spule *Sp* vom Schleifring R_1 von rechts nach links, so fließt er in der anderen Hälfte zum Schleifring R_2 von links nach rechts. Kommt nun der Teil der Windung, der R_1 am nächsten liegt, bei der Ankerdrehung in den Bereich des Nordpols, so kehrt die Richtung des darin fließenden Stromes sich um. Stehen die Windungen senkrecht zwischen den Polen, so sind sie stromlos, da sich dann die induzierenden Wirkungen der beiden Pole aufheben. Die Stärke des Stromes schwankt also bei jeder Umdrehung zweimal von Null bis zu einem Höchstwert. Ebenso wechselt die Stromrichtung bei jeder Umdrehung zweimal. Diesen Wechselstrom kann man auch in Gleichstrom umwandeln. Sehen Sie sich einmal Abb. 64 an. Bei der in dieser Abbildung skizzierten Maschine sind die Schleifringe fortgenommen worden. Dafür sitzen zwei voneinander isolierte Halbringe R_1 und R_2 auf der Achse. Auf diesen Halbringen schleifen die Bürsten B_1 und B_2, die mit dem Außenstromkreis verbunden sind. Der eine Halbring ist mit dem Anfang, der andere mit dem Ende der Ankerwicklung verbunden. Beide Halbringe zusammen heißen Kommutator (= Stromwender) oder Kollektor (= Sammler). Dreht sich der Anker, so entstehen in seiner Wicklung wieder Ströme wechselnder Richtung. Im Außenstromkreis fließt der Strom aber dennoch in einer Richtung, also etwa von der Bür-

ste B_1 fort durch die Verbrauchsapparate zur Bürste B_2. Diese Tatsache erklärt sich folgendermaßen: Bei der in Abb. 64 gezeichneten Ankerstellung liegt der Halbring R_1 an der Bürste B_1, der Halbring R_2 an der Bürste B_2. Dreht sich der Anker, so geht die Bürste B_1 nach einer halben Umdrehung auf den Halbring R_2 über, während die Bürste B_2 sich auf R_1 legt. Nach der nächsten halben Umdrehung nehmen die Bürsten wieder die Anfangsstellung ein. Bei jeder Umkehr der Stromrichtung in der Wicklung wird also auch der Anschluß der Außenleitung an die Schleifringe umgekehrt. Und diese doppelte Umkehrung bewirkt, daß der Außenstromkreis stets in der gleichen Richtung vom Strom durchflossen wird. Im Außenstromkreis fließt also Gleichstrom, obwohl die Maschine Wechselstrom liefert. Allerdings hat dieser Gleichstrom die Eigentümlichkeit, daß seine Stärke bei jeder Umdrehung zweimal von Null bis zu einem Höchstwert wächst und langsam wieder auf Null herabgeht, aber das schadet nichts. Dieser »pulsierende« Strom, wie man ihn nennt, läßt sich für viele Zwecke ebensogut verwenden wie der stets gleichmäßig starke Strom, den z. B. Elemente liefern.

Das Schaltbild des hier beschriebenen Stromerzeugers sehen Sie in Abb. 65. Für die »Erregung« des Elektromagneten ist eine besondere Stromquelle erforderlich. Das ist unpraktisch; man entnimmt daher vorteilhafterweise den für die Elektromagnetwicklung benötigten Strom der Dynamomaschine bzw. dem Anker und kommt so auf das Schaltbild Abb. 66.

Hier liegt die Elektromagnetwicklung im Nebenschluß zum Außenstromkreis. Daher heißen solche Dynamos *Nebenschlußmaschinen*. Man

Abb. 65 Schaltbild der Dynamomaschine



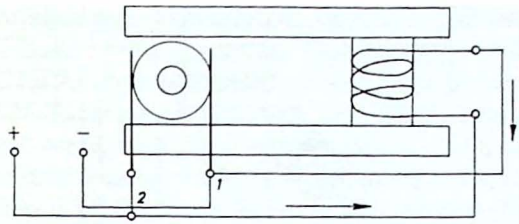
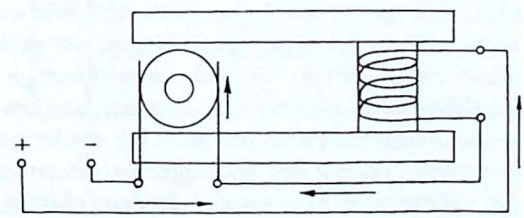


Abb. 66 Schaltbild für Selbsterregung

kann die Schaltung aber auch anders ausführen, beispielsweise nach Abb. 67. Bei dieser Maschine ist die Elektromagnetwicklung derart geschaltet, daß Außenstromkreis, Anker und Magnetwicklung in Serie oder Reihe, d. h. hintereinander liegen. Der Feldmagnet wird also vom ganzen Ankerstrom durchflossen. Man nennt solche Maschinen daher *Hauptstrom-* oder auch *Reihenschlußmaschinen.*

Sie sollen nun die Arbeitsweise des Elektromotors näher kennenlernen. Wenn man einen Gleichstrom-Dynamo nimmt und eine starke Batterie mit den Anschlußklemmen verbindet, an die man sonst den äußeren Stromkreis legt, so sieht man, daß der Anker der Maschine sich zu drehen beginnt. Der Dynamo bildet jetzt einen Elektromotor, bei dem sich der in die Wicklung hineingeschickte elektrische Strom in mechanische Energie umsetzt, die man an der Schnurscheibe abnimmt und zum Antrieb anderer Maschinen verwenden kann. Elektromotoren sind also nichts anderes als Dynamomaschinen, die durch einen von außen kommenden Strom gespeist werden. In allen Einzelheiten sind sie genauso gebaut wie die stromerzeugenden Dynamos, die Sie bereits kennen.

Abb. 67 Schaltbild einer Reihenschlußmaschine



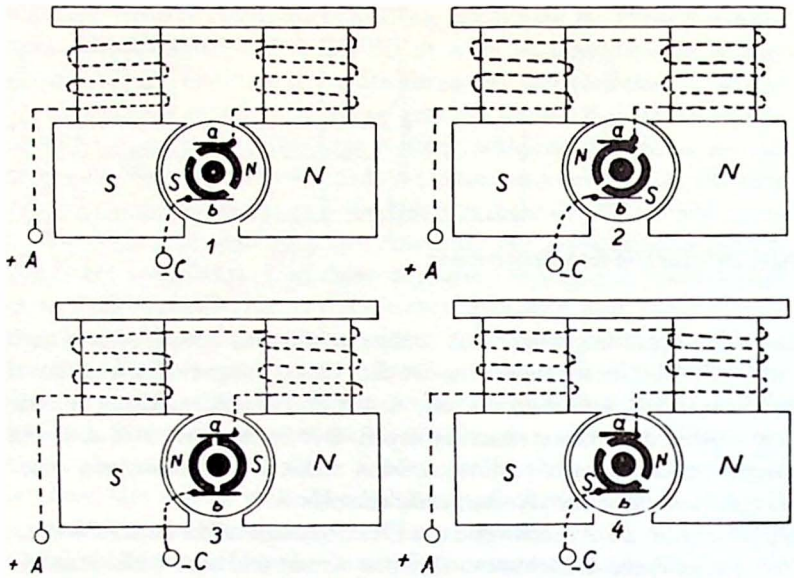


Abb. 68 Schema eines Hauptschluß-Elektromotors

Wie es kommt, daß ein in eine Dynamomaschine hineingeschickter Strom den Anker in Drehung versetzt, macht Abb. 68, das Schema eines Hauptschluß-Elektromotors, klar. Der Strom tritt an der mit +A bezeichneten Klemme in die Feldmagnetwicklung ein, durchfließt sie, geht weiter zur Ankerbürste *a*, tritt über das von ihr berührte Kollektorsegment *1* in die Ankerwicklung ein, durchfließt sie, tritt über das Kollektorsegment *2* aus und fließt über die Ankerbürste *b* und die Klemme *C* zur Stromquelle zurück. Dabei ruft er die in der Skizze 1 gezeichnete Polverteilung hervor, macht also den linken Polschuh des Feldmagneten süd-, den rechten nordmagnetisch und teilt auch den Anker in eine nord- und eine südmagnetische Hälfte, wie es durch die Buchstaben N und S angedeutet ist. Da sich ungleichnamige Magnetpole anziehen, gleichnamige aber abstoßen, zieht der Nordpol des Feldmagneten die südliche Ankerhälfte an und stößt die nordmagnetische ab. Dabei wird er von dem Südpol des Feldmagneten unterstützt, der den Ankernordpol anzieht, den Ankersüdpol dagegen abstößt. Das Ergebnis ist also

eine Ankerdrehung entgegen dem Uhrzeigersinn, die den Anker über die Stellung 2 in die Stellung 3 bringt, in der die ungleichnamigen Pole sich gegenüberstehen. Die Ankerdrehung setzt sich aber durch das dem Anker innewohnende Beharrungsvermögen noch über diese Stellung hinaus fort. Das ist durch die Skizze 4 angedeutet. Dabei tritt die Bürste a vom Kollektorsegment auf Segment 2 über, während die Bürste b auf das Segment 2 zu liegen kommt. Der Strom fließt also jetzt in umgekehrter Richtung durch die Ankerwicklung wie vorher, d. h. der Anker wird umgekehrt magnetisiert. Die ursprüngliche Nordpolhälfte ist jetzt zum Südpol geworden, die andere dagegen ist nordmagnetisch. Die Feldmagnetpole haben also wieder gleichnamige Ankerpole vor sich, die sich abstoßen. Dadurch dreht sich der Anker weiter, bis sich abermals ungleichnamige Pole gegenüberstehen. Der sofort eintretende Wechsel der Stromrichtung kehrt auch die Pole um, und das Spiel beginnt von

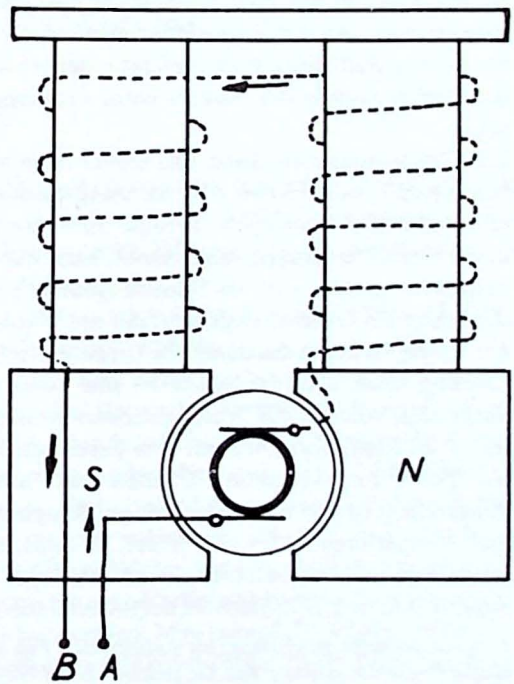


Abb. 69 Zum Verständnis des Motors

neuem. Der Anker bleibt also dauernd in Drehung, solange Strom durch die Wicklung fließt.

Sie sollen sich nun doch ein wenig mit der Wirkungsweise des Wechselstrommotors befassen, der in der Praxis eine immer größere Bedeutung erlangt. Wie bereits bekannt, kann man einen Gleichstromdynamo als Elektromotor laufen lassen, wenn man Gleichstrom durch die Wicklung schickt. Was geschieht nun, wenn man einen Wechselstrom in die Wicklung der in Abb. 69 dargestellten Maschine hineinschickt? Der erste Stromstoß mag etwa so erfolgen, daß der Strom bei »A« eintritt, zunächst die Erregerspule und dann über den Kollektor die Ankerwicklung durchläuft, um bei »B« wieder auszutreten. Dieser Stromstoß wird den Anker genau wie ein Gleichstrom in Drehung versetzen, doch gleich darauf folgt der nächste Stromstoß, der ja beim Wechselstrom umgekehrt gepolt ist. Er tritt also nun umgekehrt bei »B« in den Motor ein, um ihn bei »A« wieder zu verlassen. Durch seine neue Richtung polt er alle Elektromagneten um, also das Ankerfeld *und* die Erregerspule! An den Polaritäten zueinander – der Anker hat sich ja in der kurzen Zeit kaum weiterbewegt – ändert sich nichts, also wird sich die Drehbewegung des Ankers unter »vertauschten Vorzeichen« fortsetzen.

Ein Gleichstrommotor kann also immer dann mit Wechselstrom betrieben werden, wenn durch den Richtungswechsel des Stroms Feldspule *und* Ankerspule umgepolt werden. Ein Motor, dessen Felderregung durch einen Dauermagneten entsteht, kann also nicht mit Wechselstrom betrieben werden, weil ein Dauermagnet sich nicht umpolen läßt. Leider leistet ein Gleichstrommotor, der mit Wechselstrom betrieben wird, nur wenig, da durch das dauernde Umpolen viel Kraft verlorengeht.

Erwähnt seien noch die Synchron- und Asynchronmotoren*, die, den dauernden Wechsel des Wechselstromes ausnützend, ohne Wechselkollektor arbeiten. Sie laufen mit dem durch den Wechselstrom verursachten Polwechsel synchron, arbeiten also mit konstanter Drehzahl. Anwendung finden diese Motoren in Plattenspielern, Tonbandgeräten und Ventilatoren. Abb. 24, Tafel 13 zeigt einige Kleinmotoren für Modellbau und Hobbytechnik, Abb. 25, Tafel 14 einen mit dem neuen Kosmos Junior-Elektrotechnik aufgebauten Elektromotor.

* Synchron heißt gleichzeitig; im vorliegenden Fall bedeutet es, daß Motor und Generator in der gleichen Zeit die gleiche Anzahl Umdrehungen machen.

18. Spiel und Arbeit

Wer sich gerne beschäftigt, handwerkliche Fähigkeiten besitzt und seine Geschicklichkeit im Umgang mit dem Laubsägebogen und dem Lötkolben fördern will, der wird auch Geräte bauen, die man heute in jedem Warenhaus billiger und vielleicht auch »besser« kaufen kann. Was man jedoch käuflich nicht erwerben kann, sind Wissen, Erfahrung und handwerkliche Praxis, sowie das befriedigende Gefühl über eine gelungene Arbeit. Der kleine Schritt von der anfänglich spielerischen Beschäftigung zur ernsthaften Bastelei, zum Lernen, ist in jedem Fall gewinnbringender als ein rascher Einkauf im Warenhaus.
Die in diesem Abschnitt vorgestellten Geräte sind dem jungen Praktiker bestens bekannt; doch er wird erkennen, daß es auch bei den einfachsten Dingen immer Neues zu erlernen gibt.

18.1 Ein Kompaß

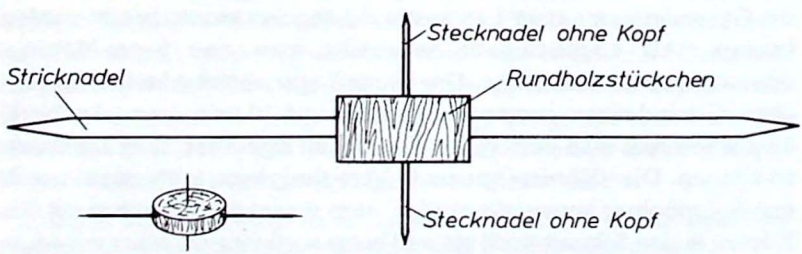
Man schneidet aus einem auf beiden Seiten glattgehobelten Holzbrettchen mit der Laubsäge eine kreisrunde Scheibe mit einem Ø von 105 mm. Diese etwa 12 mm starke Scheibe wird mit Schmirgelpapier und einer Feile sauber geglättet.
In der Mitte der Holzscheibe wird mit einem 5-mm-Bohrer ein Loch gebohrt. Man achte dabei darauf, daß das Loch genau senkrecht zur Ebene verläuft. Dieses Loch muß nun mit einem 10-mm-Spiralbohrer von oben nach unten 4 mm tief aufgebohrt werden, damit der Kopf und die Gewindemutter einer Lagerschraube bequem untergebracht werden können. Als Lagerschraube verwendet man eine 5-mm-Messingschraube von 18 mm Länge. Die zweite Lagerschraube besitzt die gleichen Gewindeabmessungen, ist jedoch nur 10 mm lang. An beide Schrauben feilt man eine kleine Fläche, um eine Vertiefung anbringen zu können. Die »Körner« genannte Vertiefung kann leicht mit einem 2-mm-Spiralbohrer hergestellt werden. Man spannt die Schrauben mit den Köpfen in den Schraubstock ein und bohrt vorsichtig die Mitte der ange-

feilten Flächen ein wenig an. Es genügen ganz wenige Umdrehungen mit der Bohrmaschine, da die Versenkung nicht tief zu sein braucht. Für die obere Lagerschraube benötigt man einen Lagerbügel. Dieser Bügel und auch alle übrigen Metallteile dürfen keineswegs aus Eisen bestehen, weil die empfindliche Magnetnadel sonst abgelenkt würde.

Ein Stück Flachmessing mit den Abmessungen 225 × 10 × 2 mm wird zweimal rechtwinklig abgebogen. Es kommt sehr häufig vor, daß Messing beim Biegen bricht. Um das zu verhindern, erwärmt man es bis zur Rotglut und kühlt es rasch mit Wasser ab. Das Innenmaß zwischen den abgebogenen Schenkeln beträgt 105 mm. Der Lagerbügel muß also leicht über die Holzscheibe gesteckt werden können. Genau in der Mitte des Messingbügels bohrt man ein Loch mit 5 mm Durchmesser. Es dient zur Aufnahme der oberen Lagerschraube. In die beiden Seitenschenkel werden je zwei kleine 2,5-mm-Löcher gebohrt. Der Abstand der Löcher von der Lochmitte beträgt 7,5 mm. Der Lagerbügel wird nun mit vier 2,5 × 8-mm-Holzschrauben an dem Grundbrettchen befestigt. Dabei muß man darauf achten, daß das Loch des Grundbretts genau in einer Richtung mit dem Loch des Messingbügels liegt.

Beide Lagerschrauben werden mit Muttern so befestigt, daß sich die angekörnten Flächen gegenüberstehen. Wenn man bei allen Arbeiten genügend vorsichtig vorgegangen ist, werden die angekörnten Schraubenflächen ohne weiteres in einer Richtung liegen. Stimmt das noch nicht, so bohrt man das 5-mm-Loch im Messingbügel etwas auf, so daß man die Lagerschraube vor der endgültigen Befestigung in die entsprechende Richtung schieben kann.

Abb. 70 Lagerung zwischen zwei Stecknadeln



Nun fertigt man sich eine Papierscheibe an, auf die die einzelnen Himmelsrichtungen gezeichnet werden. Abb. 20, Tafel 11 zeigt den fertigen Kompaß. Man verwendet halbstarkes weißes Zeichenpapier, das mit schwarzer Tusche beschriftet wird, um möglichst starken Kontrast zu erzielen. Die Papierscheibe wird ausgeschnitten und später auf das Grundbrettchen geleimt.

Zur Anfertigung der Magnetnadel benötigt man eine Stricknadel, die auf etwa 100 mm verkürzt wird. Genau in die Mitte der Nadel, also in einem Abstand von 50 mm von der Außenkante gemessen, wird ein 1-mm-Loch quer zur Längsachse gebohrt. Diese Arbeit verlangt einige Sorgfalt. Nicht zu kräftig auf die Bohrmaschine drücken, damit der Spiralbohrer nicht abreißt! Wer für diese Arbeit nicht eingerichtet ist, kann die Achslagerung der Stricknadel nach Abb. 70 durchführen.

Nach Beendigung der Arbeit prüft man, ob das Loch genau in der Mitte der Stricknadel liegt. Man nimmt eine Stecknadel, steckt sie durch das Loch und läßt die Nadel ähnlich einer Waage sich auf ihren Schwerpunkt einspielen. Die nach abwärts ziehende Hälfte der Nadel ist noch zu lang und muß deshalb mit einer Feile entsprechend verkürzt werden. Man wiederholt den Versuch mit der Stecknadel so lange, bis die Stricknadel genau waagrecht mit dem Drehpunkt auf der Stecknadel liegt.

Die Enden der Nadel werden mit der Feile etwas spitz gefeilt und mit Schmirgelpapier sauber geglättet. Damit die Nadel nach der Magnetisierung ihren Magnetismus dauernd behält, muß man sie härten. Dazu erwärmt man sie auf der Gasflamme oder in einem mäßigen Kohlenfeuer bis zur Kirschrotglut, faßt sie mit einer Zange und kühlt sie rasch in kaltem Wasser ab. Die glühende Nadel muß sehr schnell und senkrecht in das Wasser getaucht werden, damit sie sich nicht verzieht. Ist die Nadel ausgeglüht, so wird sie getrocknet und mit Schmirgelpapier von dem durch das Härten entstandenen Zunder befreit. Anschließend poliert man sie mit feinem Schmirgelpapier auf Hochglanz. Zur Kenntlichmachung derjenigen Spitze, die nach der Magnetisierung stets nach Norden zeigt, streicht man die Hälfte mit blauer Öl- oder Lackfarbe an. Eine nochmalige Gleichgewichtskontrolle empfiehlt sich hier, weil sie nach der Magnetisierung nicht mehr durchgeführt werden kann.

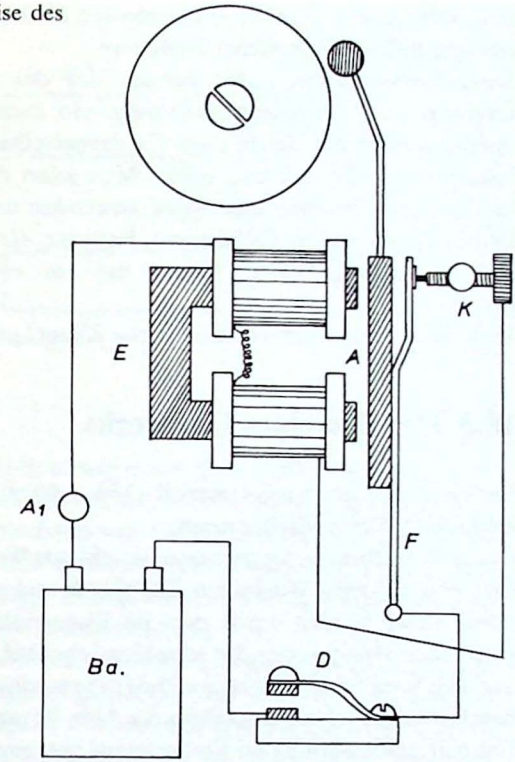
Zum Magnetisieren der Nadel verwendet man den auf Seite 157 ff. beschriebenen Elektromagneten. Die blaugestrichene Hälfte der Kompaßnadel muß »nordpolmagnetisch« werden, damit sie später vom

magnetischen Südpol, der in Alaska (also nahe dem geographischen Nordpol) liegt, angezogen wird und uns so »Norden« anzeigen kann. Indem man versucht, mit der Magnetnadel leichte Eisengegenstände wie Büronadeln, kleine Nägel usw. anzuziehen, überzeugt man sich davon, ob die Magnetisierung auf die Stricknadel kräftig eingewirkt hat.
Dann folgt die letzte Arbeit an der Magnetnadel. Eine 1 mm starke Nähnadel wird in einer Länge von 20 mm mit einer kräftigen Stahlzange abgezwickt. Das stumpfe Ende wird mit der Feile zugespitzt und die Nadel dann quer durch die Kompaßnadel gesteckt. Die Nadelspitzen der Achse müssen ziemlich scharf und lang verlaufen, damit ein einwandfreies Spiel der Kompaßnadel erreicht wird. Die Nadel wird nun zwischen den beiden Lagerschrauben gelagert; man dreht die untere Lagerschraube etwas zurück und setzt die Nadel mit ihrer Querachse in die beiden Hohlkörner ein; dann wird die Schraube wieder so weit hineingedreht, bis die Kompaßnadel, ohne zu wackeln, leicht hin- und herspielt. In der Ruhelage zeigt die blaue Spitze stets nach Norden, und zwar mit einer kleinen Abweichung gegen Osten. In Wirklichkeit zeigt sie ja, wie Sie gesehen haben, nicht nach dem Nordpol, sondern nach dem magnetischen Pol in Alaska. Diese Mißweisung muß man beachten, wenn man die gezeichnete Windrose auf das Grundbrett leimt. Norden ist nicht da, wohin die Nadel zeigt, sondern ein wenig rechts davon. Beim Betrieb des Kompasses muß man darauf achten, daß sich in seiner Nähe keine größeren Eisenteile oder gar Magnete befinden, da diese die Nadel ablenken können. Abb. 20, Tafel 11 zeigt das fertige Gerät.

18.2 Der Wagnersche Hammer

Die Wirkungsweise der elektrischen Läutwerke wird durch Abb. 71 veranschaulicht. Sie sehen dort einen Hufeisenmagneten E, vor dessen Polen der an einer starken Blattfeder F befestigte Anker A angebracht ist. Das freie Ende des Ankers trägt einen Klöppel, der gegen eine Glockenschale schlägt. Dem Anker gegenüber sitzt die Kontaktschraube K, die so angeordnet ist, daß der Anker bei *nicht* arbeitendem Läutwerk ihre Spitze berührt. Mit dieser Kontaktschraube ist das eine Ende der Elektromagnetwicklung verbunden, deren anderes Ende an der Anschlußklemme A_1 liegt. Von der zweiten Anschlußklemme führt

Abb. 71 Die Wirkungsweise des Läutwerks



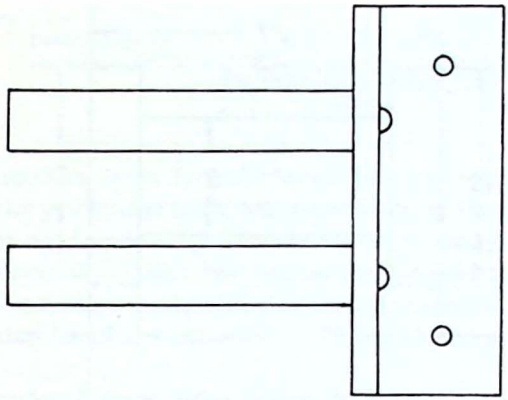
eine leitende Verbindung zum Anker. Zwischen die beiden Klemmen sind die Batterien *Ba* und der Druckknopf *D* geschaltet. Drückt man auf *D*, so wird der Stromkreis geschlossen. Der Strom fließt dann von A_1 durch die Elektromagnetwicklung über *K* und den Anker zur Batterie zurück. Der Anker wird angezogen, und der Klöppel schlägt gegen die Glocke. Dabei entfernt sich der Anker jedoch von der Spitze der Kontaktschraube *K*, so daß der Stromkreis zwischen *A* und *K* unterbrochen ist. Der Elektromagnet verliert also seinen Magnetismus und läßt den Anker los, der sofort von seiner Blattfeder zurückschnellt und wieder gegen *K* gelegt wird. Dadurch tritt abermals Stromschluß ein. Der Anker wird von neuem angezogen, schlägt gegen die Glocke, unterbricht dabei den Stromkreis, schnellt zurück usw. Das Spiel wiederholt

sich, solange der Kontakt *D* geschlossen bleibt. Die beschriebene Einrichtung heißt »Wagnerscher Hammer«.
Diese Erläuterungen zeigen bereits, daß der Bau eines elektrischen Läutwerks nicht besonders schwierig sein kann. Daß man sich dabei durchaus nicht auf die in Abb. 71 dargestellte Form zu beschränken braucht, versteht sich von selbst. Man kann das geschilderte Prinzip leicht in ganz verschiedener Weise anwenden und so nach Wunsch und Bedarf Rasselwecker, Fallklappen, Summer, elektrische Trommeln und laut brummende Hörner bauen, um nur einige Möglichkeiten zu nennen.
Zunächst soll eine einfache elektrische Klingel gebaut werden.

18.3 Der Bau eines Läutwerks

Ein Grundbrettchen aus Hartholz (130 × 60 × 15 mm) dient zur Aufnahme des ganzen Mechanismus.
Der hufeisenförmige Magnetkern besteht aus Weicheisen. Man benötigt dazu einen kleinen Winkel aus Eisenblech und zwei kurze 6-mm-Eisenstäbe. Diese werden durch zwei im Eisenwinkel angebrachte Löcher gesteckt und festgenietet. Im schmalen Schenkel des Eisenwinkels befinden sich noch zwei Löcher zur Befestigung des fertigen Magneten auf dem Grundbrettchen. Das zeigen die Abb. 72 und 73.
Um einen möglichst guten Elektromagneten zu erhalten, glüht man die Eisenkerne vor dem Zusammenbau aus. Das Eisen wird dabei auch viel weicher, so daß die Nietung leichter vonstatten geht. Zum Festnieten spannt man die Eisenkerne fest in den Schraubstock und steckt den Eisenwinkel so weit darauf, bis die Köpfe der Kerne etwa 1 mm über den Winkel hervorschauen. Mit einem kleinen Hammer schlägt man nun auf die Kerne so lange ein, bis sich das Eisen verformt und in den Löchern festsitzt. Kleine Unebenheiten werden mit einer Feile beseitigt.
Nun kommen die beiden Magnetspulen daran. Bei den kleinen Abmessungen der Spulen muß man den Wickelkörper besonders sorgfältig herstellen. Von einem 18-mm-Rundstab aus Hartholz schneidet man mit der Laubsäge 4 Scheibchen von je 3 mm Dicke ab. Dabei muß man auf eine möglichst gerade Sägeführung achten, damit die Scheiben genau parallel und gleich stark werden. Die so gewonnenen Holzplättchen

Abb. 72 Befestigung des Magneten



werden nun in der Mitte mit einem 8-mm-Spiralbohrer durchbohrt und mit Schmirgelpapier vom Grat sauber befreit. Als Wickelkern verwendet man einen Hartholzrundstab von 8 mm Durchmesser. Die Wickelkerne sollen 21 mm lang sein und müssen mit einem 6-mm-Bohrer hohl gebohrt werden. Bei mäßiger Bohrgeschwindigkeit gelingt diese Arbeit sehr gut, und die Stäbchen brechen nicht aus.

Man leimt nun die Stäbchen auf, wobei man darauf achtet, daß der Wikkelraum bei den beiden Spulen genau gleich groß wird. Sind die Spulen gut getrocknet, also genügend fest, dann bohrt man rechts und links je ein 1-mm-Loch durch die Seitenscheiben, um den Wickeldraht durchführen zu können.

Abb. 74 zeigt die genauen Abmessungen der Spulenkörper, die nun nebeneinander auf einen Wickeldorn gesteckt werden. Dazu eignet sich

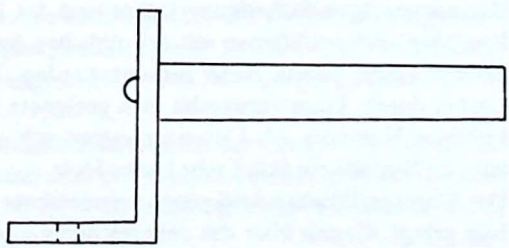


Abb. 73 Befestigung des Magneten

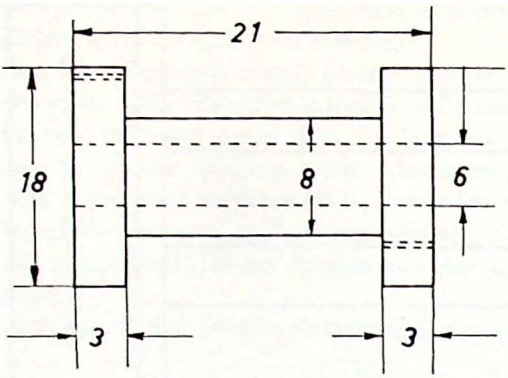


Abb. 74 Abmessungen der Spulenkörper

am besten ein Spiralbohrer; der Dorn wird in das Bohrfutter der Bohrmaschine gespannt. Zum Bewickeln der Spule verwendet man 0,5-mm-Kupferdraht mit Lackisolierung. Man bewickelt die Spule sauber lagenweise so lange, bis der Wickelraum des Spulenkörpers völlig ausgenützt ist. Selbstverständlich muß der Windungssinn bei beiden Spulen stets der gleiche sein.

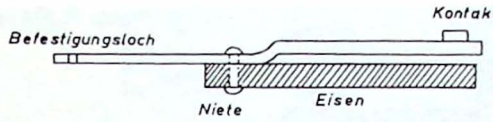
Beide Spulen werden nach ihrer Fertigstellung auf die Magnetkerne gesteckt und mit etwas Klebstoff so befestigt, daß die Spulen fest und unverrückbar auf den Kernen sitzen.

Der Anker besteht aus einem Eisenplättchen von 2 mm Dicke, 12 mm Breite und 30 mm Länge. Das Plättchen wird sauber rechtwinklig gefeilt, mit zwei 2-mm-Löchern versehen und an die Blattfeder – z. B. ein Stückchen von alten Uhrfedern – angenietet. Zur Bearbeitung der Blattfeder verwendet man ältere Feilen, für den harten Stahl wären gute Feilen zu schade.

Die notwendigen Befestigungslöcher und das Loch zur Aufnahme des Kontaktplättchens können mit den üblichen Spiralbohrern, die eine zu geringe Härte haben, nicht gebohrt werden. Man stanzt deshalb die Löcher durch. Dazu verwendet man geeignete Durchschläge und einen kräftigen Hammer. Als Unterlage eignet sich am besten ein Stück Blei oder im Notfalle ein Stück sehr hartes Holz.

Das Kontaktplättchen wird genau angezeichnet und flach auf die Unterlage gelegt. Genau über das angezeichnete Loch hält man den Durch-

Abb. 75 Aufbau des Ankers



schlag, der selbstverständlich an seiner Trennfläche den gleichen Durchmesser haben muß wie das gewünschte Loch. Mit einem kräftigen Hammerschlag auf den Kopf des Durchschlags wird dann das Loch ausgestanzt. Gelingt diese Arbeit nicht, dann führt sie ein Schlossermeister aus, der eine passende Lochstanze besitzt. Die Blattfeder wird nun mit zwei kleinen Kupfer- oder Aluminiumnieten an das Eisenplättchen genietet.

Damit sich die Feder von dem Eisenplättchen abhebt, wird das Ende, an dem sich der Kontakt befindet, mit einer Flachzange etwas abgebogen. Als Kontaktmaterial verwendet man am besten Wolfram. Fertige Kontakte erhält man in Form kleiner Nieten in jedem Elektrospezialgeschäft. Die Befestigung geschieht wieder durch Festnieten.

Abb. 75 zeigt den Aufbau des Ankers. Der Klöppel besteht aus einem 3 mm starken Messing- oder Eisendraht, an dessen einem Ende eine kleine Gewindemutter als Schlagkopf aufgelötet ist. Das andere Ende des Klöppels wird gut auf das Eisenplättchen gelötet und die Lötstelle sauber verfeilt.

Für die Kontaktschraube wird eine Messingflachkopfschraube 10 × 3 mm mit einem 1-mm-Spiralbohrer etwa 1½ mm tief eingebohrt. In diese Bohrung steckt man ein kurzes Stückchen Wolfram- oder Platindraht, und zwar so, daß der Kontaktdraht unbedingt festhält. Ist der Draht etwas dünner als der Durchmesser der Bohrung, dann klopft man ihn vorsichtig breit, bis die vorbereitete Stelle des Drahtes stramm in die Bohrung paßt.

Als Haltevorrichtung der Schraube genügt ein kleiner Messingwinkel, auf dem sich die Kontaktschraube mittels zweier 3-mm-Gewindemuttern verstellen und befestigen läßt. Abb. 76 zeigt die Kontaktschraube mit dem Haltewinkel.

Der Messingwinkel wird nun zusammen mit dem Anker auf dem Grundbrettchen so befestigt, daß sich die Kontakte genau gegenüberstehen. Ein Holzklötzchen (15 × 22 × 13 mm) wird auf das Grundbrett als Lager für den Anker geleimt.

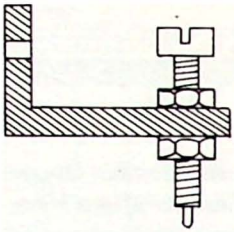


Abb. 76 Kontaktschraube mit Haltewinkel

Im Bereich des Klöppels wird eine Glockenschale befestigt. Sie muß so angebracht werden, daß der Knopf des Klöppels bei Inbetriebnahme des Läutwerkes etwa 2–3 mm über dem Glockenende anschlägt. Dann ergibt sich ein voller Glockenton.

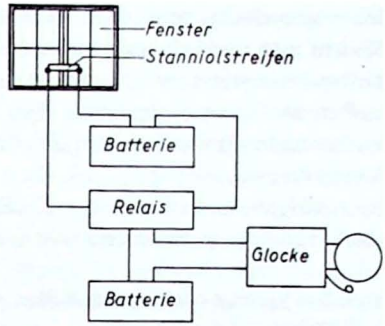
Zum Anschluß an die Stromquelle dienen zwei Klemmen, die nach Abb. 71 mit dem Läutwerk zusammengeschaltet sind. Abb. 19, Tafel 10 zeigt das fertige Läutwerk. Zur schnellen und sicheren Inbetriebnahme der Glocke eignet sich ein handelsüblicher Druckknopfschalter.

Wie auf S. 79 erwähnt, kann die Klingel in Verbindung mit dem Leitungsprüfer gute Dienste leisten. Die Klingel wird dann an die vorgesehenen Buchsen des Leitungsprüfers angeschlossen.

Da Trockenbatterien zum Betrieb einer Klingel (Taschenlampenbatterien genügen bereits) auf die Dauer ziemlich unwirtschaftlich sind, geht man in steigendem Maße dazu über, dort, wo mit Wechselstrom betriebene elektrische Lichtanlagen vorhanden sind, den Betriebsstrom aus dem Stromnetz zu entnehmen, und zwar mit einem sog. Klingeltransformator. Die käuflichen Kleintransformatoren, bestimmt zum Anschluß an Lichtnetzspannungen von 110 bis 120 oder 220 Volt, sind in völlig geschlossene Kästchen eingebaut, die auf dem Deckel einerseits zwei Anschlußklemmen für die Lichtleitung, andererseits gewöhnlich drei Niederspannungsklemmen tragen, an denen man – je nachdem ob man die Leitung an die erste und zweite, die zweite und dritte oder die erste und dritte Klemme anschließt – Wechselspannung von 4, 6 oder 8 Volt und die zum Betrieb von Klingelanlagen erforderliche Stromstärke abnehmen kann.

Da die Kleintransformatoren als Starkstromapparate bestimmten Vorschriften entsprechen müssen, empfiehlt sich die Selbstanfertigung nur für fortgeschrittene Bastler. Der Anfänger wird den Transformator besser kaufen. Der Anschluß des Transformators an die Lichtleitung muß *stets*

Abb. 77 Eine einfache Alarmanlage



durch einen Fachmann vorgenommen werden. Bei Versuchen benützt man am besten das Stromversorgungsgerät (s. S. 84ff.) mit Abgriffen bei 4–8 V.

Der Bau von Alarmanlagen ist immer ein dankbares Betätigungsfeld. Eine Alarmanlage einfachster Art kann man sich nach Abb. 77 herstellen. Man sieht ein Fenster, dessen beide Flügel mit einem aufgeklebten Stanniolstreifen überbrückt sind. Die beiden Enden des Stanniolstreifens werden über eine Batterie mit der Wicklung eines Relais verbunden, das so gebaut sein muß, daß der Relaiskontakt bei angezogenem Anker geöffnet ist. Der Anker ist immer dann angezogen, wenn Strom in der Wicklung fließt, wenn also der Stanniolstreifen unbeschädigt ist. Wird nun das Fenster unbefugt geöffnet, so zerreißt der Streifen. Infolgedessen wird die Relaiswicklung stromlos, der Anker fällt ab und schließt den Relaiskontakt. Infolgedessen ertönt die im Kontaktstromkreis liegende Glocke; es wird also »Alarm« gegeben.

18.4 Ein praktisches Mikrofon

Ein brauchbares Mikrofon bildet die Grundlage für viele interessante und abwechslungsreiche Versuche in der Fernsprech- und Verstärkertechnik. Es gibt die verschiedensten Bauarten; für den Bastler haben sie ausnahmslos den Nachteil, daß man sie nicht selbst herstellen kann. Indessen kommt man sehr billig zu einem recht brauchbaren Mikrofon, wenn man einen der käuflichen Kleinstlautsprecher verwendet. Sie sind an sich für die Umwandlung von elektrischer Tonleistung in Schall-

leistung gedacht. Man setzt solch einen Lautsprecher umgekehrt ein. Spricht man nämlich gegen seine Membran, so werden in der Wicklung kleine Wechselspannungen entstehen, die in ihrem Verlauf den Schallwellen des Tones entsprechen. Die Spannung ist so klein, daß man sie vorher noch verstärken muß; erst dann kann man damit einen größeren Verstärker steuern.
Ihre Aufgabe besteht also darin, den Kleinstlautsprecher mit dem Verstärker zusammenzuschalten und in ein Gehäuse einzubauen.

Zum Bau benötigt man folgende Teile:
1 Brettchen 110 × 110 × 4 mm
2 Leisten 85 × 22 × 4 mm
1 Leiste 63 × 22 × 4 mm
1 Pertinaxplatte 90 × 35 × 1,5 mm
1 Flachbatterie 4,5 Volt
2 Transistoren AC 162 oder AC 122
1 Kondensator 1 µF/60 V
1 Kondensator 10 µF/60 V
1 Widerstand 400 kΩ/1/10 W
1 Widerstand 12,5 kΩ/1/10 W
1 Widerstand 5 kΩ/1/10 W
1 Widerstand 10 Ω/1/10 W
1 Widerstand 1,5 kΩ/1/10 W
1 Transistorübertrager 4,5:1
div. Kleinmaterial, Schrauben, Lötösen, Schaltlitze, Gummifüße usw.

Alle Bauelemente werden einschließlich der Batterie auf ein Chassis, das zugleich als Bodenbrettchen für den Sockel des Mikrofons dient, montiert. Die drei schmalen Holzleisten werden auf die Bodenplatte geleimt, so daß sich ein kastenartiger Rahmen ergibt. Zur Sicherheit legt man die Flachbatterie provisorisch ein, so daß sich von selbst der Abstand der Seitenleisten zueinander ergibt. In Höhe der Kontaktfedern der Batterie bohrt man zwei 3-mm-Löcher und befestigt daran die zwei 3-mm-Schrauben. Durch Zurechtbiegen der Kontaktbleche müssen diese an den Schraubenköpfen anliegen. Die Spannung wird an kleinen Lötösen abgenommen, die man mit den Schrauben befestigt. Damit die Batterie stramm sitzt, verkeilt man sie mit einem kleinen Stück Pappestreifen. Aus der Pertinaxleiste fertigt man die Lötösenleiste zur Aufnahme der Widerstände, Kondensatoren usw. Sämtliche elektrischen Bauteile sollten zur Hand sein, damit die Bohrungen ihrer Größe ent-

sprechend angepaßt werden können. Sind alle Löcher gebohrt und auch die Lötösen eingenietet, so lötet man die Bauelemente ein. Die Transistoren müssen vorsichtig und nicht zu heiß eingelötet werden. Man läßt die Anschlußdrähte in der Originallänge, schiebt jedoch drei kurze Isolierschläuche in verschiedenen Farben darüber, damit die Anschlüsse nicht verwechselt werden. Nun ist noch der Transformator zu befestigen. Er wird auf kleine Abstandsrollen gesetzt (z. B. Messingrohr oder kleine Abfälle aus den Hülsen alter Bananenstecker) und mit zwei 3-mm-Schrauben verschraubt. Die Lötleiste ist nun fertig zum Verdrahten und wird zum Schluß auf dem Bodenbrettchen mit sehr kurzen Holzschrauben befestigt.
Nun folgt als nächstes die Herstellung des Sockels. Er besteht aus einer kleinen Holzschraube, wofür folgendes Material benötigt wird:

1 Brettchen 120 × 120 × 4 mm
2 Seitenleisten 120 × 40 × 4 mm
2 Seitenleisten 112 × 40 × 4 mm
4 Eckleisten 10 × 10 × 40 mm
1 Jautz-Lampenfassung mit Abdecklinse
1 Lämpchen 4 Volt/0,3 A
1 Schalter
2 Buchsen 4 mm
1 Blechstreifen 140 × 20 × 1,5 mm

Die Brettchen werden stumpf zusammengeleimt. Die erforderliche Stabilität erreicht man mit den vier Eckleisten. Ist alles genau gearbeitet, so muß das Chassis richtig hineinpassen, und die Bodenplatte muß ringsherum abschließen. Die Lage der Bohrungen für die Buchsen, Schalter und Kontrollampen muß man ermitteln, weil der Aufbau ziemlich gedrängt ist. Der Blechstreifen wird an den beiden Enden schön verrundet und U-förmig gebogen. Zwei Löcher, je eines links und rechts, dienen zur Befestigung des Mikrofongehäuses. Auf der Längsseite des

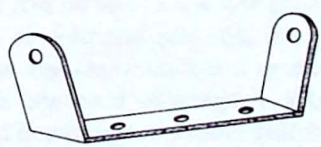


Abb. 78 Der Montagewinkel

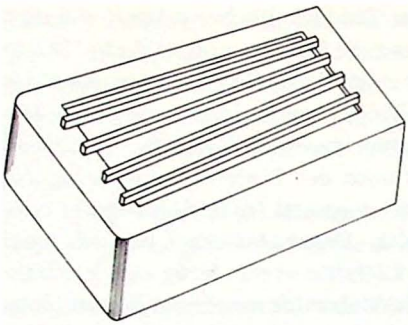
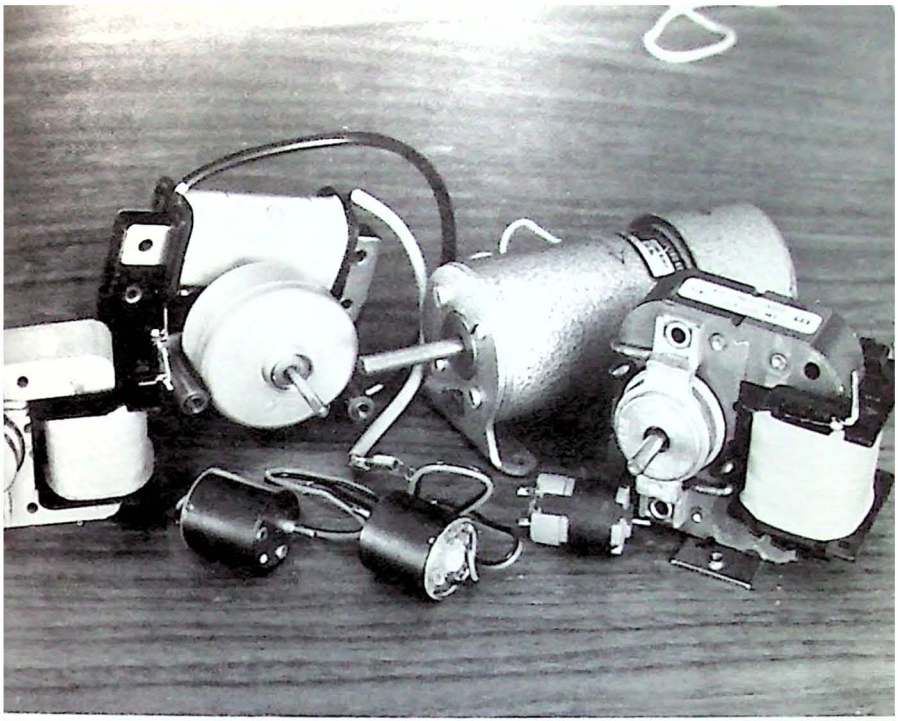


Abb. 79 Das Mikrofongehäuse

Winkels befinden sich zwei weitere Bohrungen zur Befestigung am Sokkel und in der Mitte eine Bohrung für die Drahtdurchführung zum Mikrofon. Abb. 78 zeigt den fertigen Montagewinkel.
Und nun die Herstellung des Mikrofongehäuses.

Hierfür werden folgende Teile benötigt:
2 Seitenwände 135 × 60 × 4 mm
2 Seitenwände 100 × 65 × 4 mm
1 Rückwand 140 × 100 × 4 mm
1 Frontwand 140 × 100 × 4 mm
1 Kleinstlautsprecher mit
Korbdurchmesser 65 mm

Der Zuschnitt sowie der Zusammenbau können aus Abb. 79 entnommen werden. Die Brettchen sind miteinander gut verleimt und die Kanten mit feinem Glaspapier sauber verrundet. Die Vorderseite ist mit einem dünnen Stoff abgeschlossen, um das Eindringen von Staub zu verhindern. Außerdem sind kleine Stäbchen als Zierleisten angebracht. Der Lautsprecher wird innen an die Frontseiten geschraubt und die Rückwand mit vier Schrauben zum Abschluß des Gehäuses befestigt.
Das Schaltbild Abb. 80 zeigt die elektrische Verdrahtung. Es handelt sich um einen zweistufigen Transistorverstärker für eine Betriebsspannung von 4,5 V. Die an sich kleine Ausgangsleistung reicht völlig aus, wenn man das Mikrofon in Verbindung mit einem Verstärker oder einem Rundfunkempfänger betreibt. Die zum Schalter, zur Lampe, zu den Ausgangsbuchsen und dem Lautsprecher führenden Anschlußdrähte müssen entsprechend lang sein, damit man jederzeit das Chassis



Tafel 13

Abb. 24: Klein- und Kleinstmotoren, gut geeignet für den Modellbau

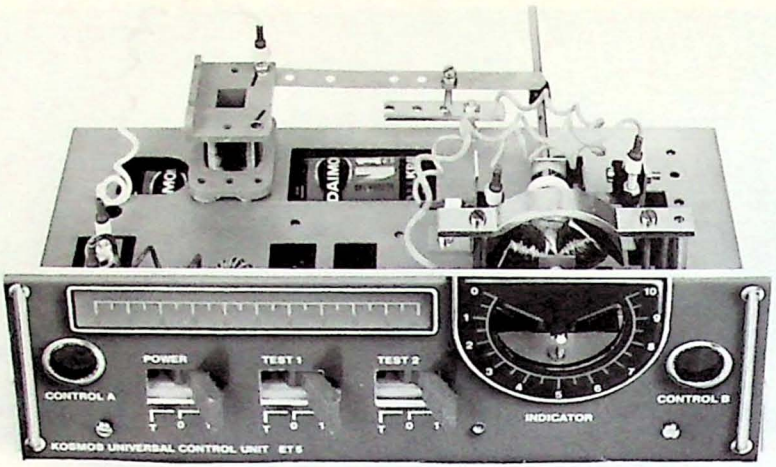
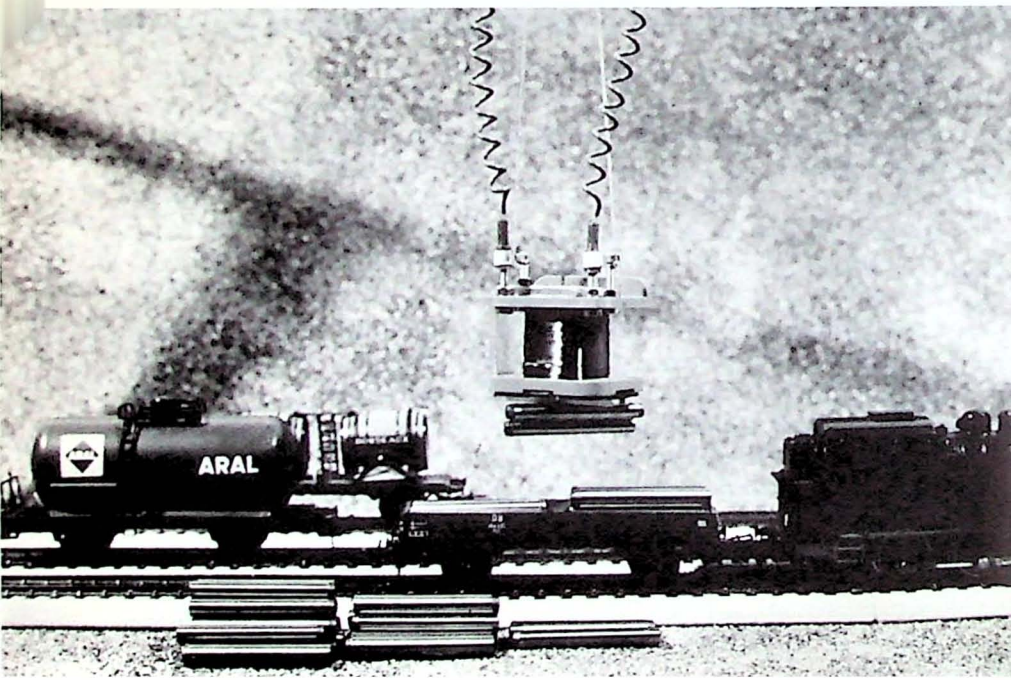


Abb. 25: Mit dem neuen Kosmos Junior-Elektrotechnik aufgebauter Elektromotor

Tafel 14

Abb. 26: Realistischer Einsatz eines Elektromagneten bei der Modelleisenbahn



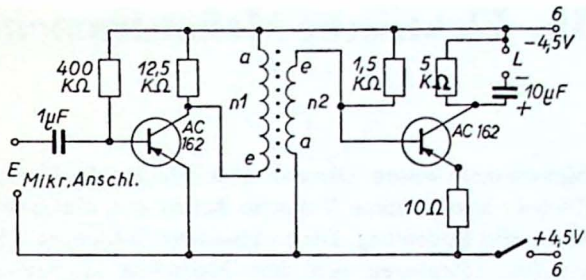


Abb. 80 Schaltung des Mikrofonverstärkers

herausklappen kann. Zweckmäßigerweise verwendet man für jede Leitung eine bestimmte Farbe, um die Schaltung übersichtlich zu machen. Ist alles in Ordnung, so setzt man die richtig angeschlossene Batterie ein. Nach Betätigung des Schalters wird die Kontrollampe aufleuchten. Das Mikrofon ist dann betriebsbereit. In die beiden Ausgangsbuchsen steckt man versuchshalber einen Kopfhörer. Wenn man nun gegen die Lautsprecheröffnung spricht, wird man die Sprache deutlich im Kopfhörer wahrnehmen.

Nunmehr kann das Mikrofon endgültig fertigmontiert werden. Das Chassis wird in den Sockel eingeschoben und unter Zwischenlage von vier Gummifüßen fest verschraubt. Das Mikrofongehäuse wird am Montagewinkel befestigt. Die Schrauben zieht man nur so fest an, daß sich das Gehäuse gerade noch bewegen läßt und in jeder beliebigen Schwenkung stehenbleibt. Das Gehäuse wird dann noch mit der Rückwand verschlossen, und das Mikrofon ist fertig.

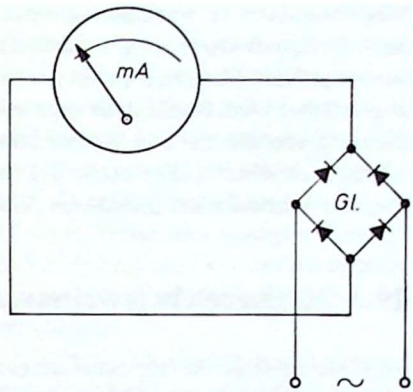
19. Elektrische Meßinstrumente

Messen heißt wissen. Diese in allen Zweigen der Naturwissenschaft und Technik unbestrittene Tatsache hat in der Elektrotechnik eine ganz besondere Bedeutung. Die elektrischen Größen, mit denen man täglich umgeht, offenbaren sich dem Menschen niemals unmittelbar; wir bemerken nur ihre Wirkungen. Aber auch die mit unseren Sinnen registrierbaren Erscheinungen, seien es nun Licht, Schall, Wärme etc. lassen sich ohne besondere Hilfsmittel nicht erfassen. Wir können wohl sagen, daß das Licht einer elektrischen Lampe hell ist, oder daß ein Elektromotor schnell läuft. Damit aber kann man in der Technik nichts anfangen. Man braucht Zahlenangaben, und diese werden durch Meßgeräte vermittelt.
Auch in der Hobbytechnik kommt man auf die Dauer nicht ohne Meßgeräte aus. Wer über die nötigen Mittel verfügt, kann sich ein teures Vielfach-Instrument kaufen. Aber der junge Bastler, der sich mit kleinen Schritten in das interessante Gebiet der Elektrotechnik einarbeitet und nur über einen kleinen Etat verfügt, steht vor einem Problem. Für ihn gibt es einen Ausweg, den er auf S. 196 finden wird. Vorher jedoch sollte er wenigstens zwei der wichtigsten Meßgeräte kennenlernen.

19.1 Das Drehspulsystem

Ein Drehspulsystem besteht aus zwei Hauptteilen, einem starken Permanentmagneten und einer im Kraftfeld dieses Magneten beweglichen Spule, der sogenannten Drehspule. Diese Spule ist in einem entsprechend geformten Magneten so angeordnet, daß sie sich in einem homogenen Feld bewegt und dieses nie verläßt. Fließt ein Strom durch die Spule, so wirkt auf diese eine mechanische Kraft, die ein mit der Spule verbundener Zeiger anzeigt. Eine spiralförmig gewickelte Feder – ähnlich der Feder bei Uhren – wirkt als Rückstellkraft für die Drehspule, so daß diese nach Unterbrechung des Stromes stets eine Stellung einnimmt, die dem Skalennullpunkt entspricht. Es gibt auch Instrumente

Abb. 81 Wechselstrommessung beim Drehspulmeßwerk



mit dem Nullpunkt in der Mitte, was sich mit einfachen mechanischen Mitteln leicht erreichen läßt.
Die gebräuchlichsten Meßgeräte besitzen ein Drehspulmeßwerk. Der Grund hierfür liegt in der größeren Anzeigeempfindlichkeit gegenüber anderen Instrumenten. Mit einem kleinen Vorschaltgleichrichter kann man ein Drehspulinstrument zur Spannungsmessung für Wechselstrom verwendbar machen. Die Gleichrichteranordnung (Abb. 81) wird dem Instrument polrichtig vorgeschaltet, dann gleicht man die Kombination mit entsprechenden Vor- und Nebenwiderständen ab. Wegen der Nichtlinearität der Gleichrichterelemente erhält man eine anfangs zusammengedrängte Skaleneinteilung. Bei einem sogenannten Universal-Vielfachinstrument, das sowohl für Gleichstrom- als auch für Wechselstrombetrieb verwendbar ist, sind deshalb die Skalenbereiche nach Stromarten getrennt.

19.2 Das Dreheisensystem

Bei diesem System ist ein drehbar gelagerter Weicheisenkern von einer Spule umgeben. Wird die Spule von Strom durchflossen, so entsteht ein magnetisches Feld, das auf den Weicheisenkern einwirkt und diesen dreht. Diese Drehbewegung wird durch einen Zeiger, der mit dem

Weicheisenkern in Verbindung steht, sichtbar gemacht. Ähnlich wie beim Drehspulsystem sorgt eine Rückzugsfeder dafür, daß der Zeiger wieder auf den Skalennullpunkt zurückwandert, wenn der Spulenstrom abgeschaltet wird. Meßinstrumente mit einem Dreheisensystem sind zur Messung von Gleich- und Wechselstrom geeignet; es ist also kein Vorschaltgleichrichter (siehe Abb. 81) erforderlich. Diesem Vorteil steht aber der Nachteil einer geringeren Ansprechempfindlichkeit gegenüber.

19.3 Meßbereichserweiterung durch Vorwiderstände

Meßinstrumente, die zur Spannungsmessung verwendet werden, sind nichts anderes als Strommesser mit entsprechendem Vorwiderstand. Das Meßwerk, Drehspule oder Dreheisen, ist ein mehr oder weniger empfindliches Milliamperemeter, das sich auch zur Spannungsmessung eignet. Abb. 82 zeigt ein Milliamperemeter, das zur Spannungsmessung benützt wird. Der Vorwiderstand R_v besteht aus einem Einstellpotentiometer. Hierbei sei erwähnt, daß man sich zum Experimentieren zweckmäßigerweise einige Potentiometer mit den Werten 10 kΩ, 25 kΩ, 50 kΩ,

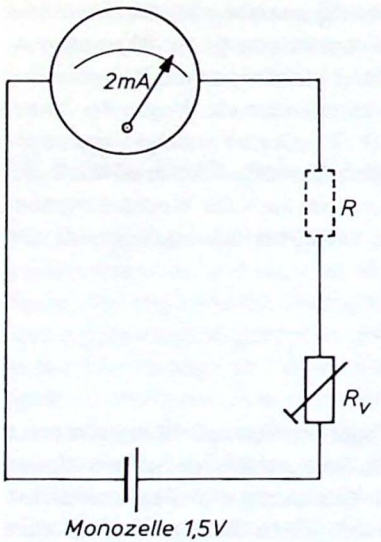


Abb. 82 Spannungmessen mit Vorwiderstand

250 kΩ und 500 kΩ beschafft. Als Eichspannungsquelle dient eine frische Monozelle 1,5 V. Für den ersten Versuch verwendet man als Vorwiderstand denjenigen mit dem höchsten Ohmwert. Durch langsames Einstellen des Potentiometers versucht man die Zeigerstellung des Milliamperemeters auf Vollausschlag zu bringen. Erreicht man keinen Vollausschlag, so wählt man ein Einstellpotentiometer mit einem kleineren Ohmwert. Man kann auch, wie Abb. 82 zeigt, einen geeigneten Festwiderstand R hinzuschalten, um auf diese Weise den richtigen Endwert des Vorwiderstandes zu erhalten. Verwendet man ein Meßinstrument mit linearer Skaleneinteilung, so lassen sich die Zwischenwerte bis zum Vollausschlag des Meßzeigers leicht ablesen.
Hierzu ein kleines Beispiel: Zur Verfügung steht ein Strommeßgerät mit 15 mA Meßbereich, der durch zehn gleichmäßig verteilte Skalenstriche markiert ist. Entsprechend dem Vorwiderstand entsteht bei 1,5 V Meßspannung ein Vollausschlag des Zeigers, der den Spannungswert 1,5 V anzeigt. Die einzelnen Skalenstriche haben dann einen Wert von je 0,15 V. Wie man sieht, ist die Meßbereichserweiterung zur Spannungsmessung nicht schwer. Wenn man sich einige Vorwiderstände für die unterschiedlichen Eichspannungsquellen anfertigt, kommt man mit kleinen Schritten zu einem recht brauchbaren Mehrbereichsvoltmeter.

19.4 Meßbereichserweiterung durch Parallelwiderstände

Um den Meßbereich eines Strommessers zu erweitern, muß man einen um so größeren Teil des Meßstromes am Meßinstrument vorbeileiten, je größer man den Meßbereich machen will. Hierzu benötigt man einen Parallelwiderstand (Nebenwiderstand oder Shunt), entsprechend Abb. 83. Der Abgleich von Nebenschlußwiderständen ist etwas schwierig, weil die Ohmwerte dieser Widerstände um so kleiner werden, je mehr der Meßbereich erweitert wird. In den meisten Fällen muß man sich die Widerstände selbst anfertigen, weil im Fachhandel die erforderlichen Werte nicht zur Verfügung stehen. (Siehe Tabelle zur Anfertigung von Nickelindrahtwiderständen, Seite 107.)
Wie Abb. 83 zeigt, ist in den Stromkreis ein Lämpchen geschaltet. Da die Stromaufnahme des Lämpchens bekannt ist – die Wertangabe befin-

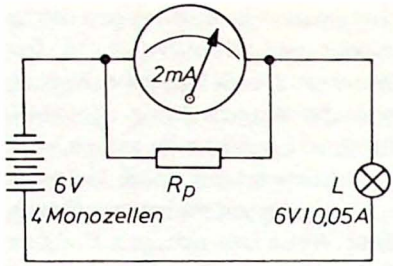


Abb. 83 Strommessen mit Parallelwiderstand

det sich auf dem Lampensockel –, hat man einen Richtwert über die Höhe des Stromes, der im Stromkreis auftritt. Die Eigenstromaufnahme des Meßinstrumentes bleibt dabei unberücksichtigt. Als Parallelwiderstand wird ein Widerstandsdraht von etwa 10 Ohm verwendet. Schaltet man die Batterie ein, so wird zwar das Lämpchen brennen, der Zeiger des Meßinstrumentes jedoch nicht oder nur ein wenig ausschlagen. Durch vorsichtiges Kürzen des Widerstandsdrahtes (Batterie stets abschalten!) erhält man dann einen Wert, der zum Vollausschlag des Instrumentes führt. Das Lämpchen brennt heller, und das Instrument zeigt eine Stromaufnahme von 50 mA an.

Den gekürzten Widerstandsdraht wickelt man zu einer federähnlichen Spirale auf. Als Wickeldorn eignet sich ein 4–5-mm-Spiralbohrer. Ein Klebeschild, auf dem der Strombereich vermerkt wird, kennzeichnet den Widerstand und schützt vor Verwechslungen beim späteren Einbau. Will man die Strommessung um einige Teilbereiche erweitern, so benötigt man weitere Lämpchen, die zur Lampe L (Abb. 83) parallel geschaltet werden. Für jeden Teilbereich muß natürlich ein eigener Nebenwiderstand angefertigt werden.

Abb. 84 zeigt, wie einfach ein Stromspannungsmesser für verschiedene Gleichstrom-Meßbereiche aufgebaut werden kann. Der junge Bastler kommt durch den Aufbau dieses Gerätes auf verhältnismäßig billige Art zu einem brauchbaren Vielfachinstrument, also zu der Lösung des Problems, das auf S. 192 angedeutet wurde. Natürlich ist die Anzeigegenauigkeit nicht besonders groß, sie genügt jedoch für einfache Messungen. Wer später einmal über ein Vergleichsinstrument verfügt, kann durch sorgfältiges Eichen der Widerstände die Meßgenauigkeit bedeutend

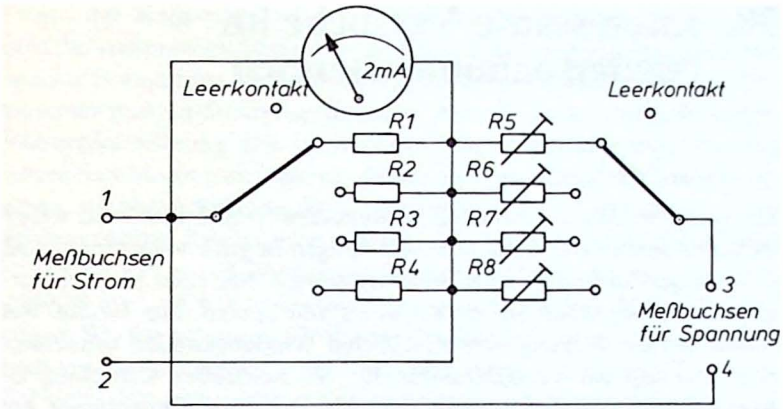


Abb. 84 Ein Strom-Spannungsmesser für verschiedene Gleichspannungen

erweitern. Die in Abb. 84 skizzierten Anschlußklemmen 1 und 2 dienen zur Strommessung, die Klemmen 3 und 4 zur Spannungsmessung.
Mit zwei voneinander getrennten Stufenschaltern werden die Vorwiderstände zur Spannungsmessung und die Nebenwiderstände zur Strommessung dem Meßinstrument zugeschaltet. Die Ohmwerte für die einzelnen Widerstände müssen durch Versuche ermittelt werden. Eine Aufbauhilfe geben die Abb. 29 und 30, Tafel 16.

20. Interessante Versuche im Niederspannungsbereich

Die bisher in unseren Arbeiten verwendeten Transformatoren waren meist Fertigprodukte, mit denen die wichtigen Begriffe »Kopplung« und »Übertrager« nicht untersucht werden konnten. Mit einer kleinen Versuchsanordnung sollen Sie die Kopplung von Spulen, den Einfluß des Eisens und die Wirkung unterschiedlicher Windungszahlen kennenlernen. Zunächst zur Versuchsanordnung: Sie beschaffen sich einen E-Kern mit den aus Abb. 85 ersichtlichen Abmessungen. Kerne dieser Art werden meistens zur Fertigung von Drosselspulen verwendet und vom Fachhandel zu günstigen Preisen geliefert. Sie sind auch in älteren Rundfunk- und Fernsehgeräten zu finden; vielleicht besitzt der eine oder andere von Ihnen ein derartiges altes Ausschlachtgerät. Der mittlere Steg des Kernes wird mit einem Flachmeißel nach Abb. 85 abgetrennt. Die Einzelbleche für das Joch braucht man später beim Versuch noch. Weiterhin beschafft man sich 4 Spulenkörper (passend zu einem Eisenkern M 42). Der aus 32 Einzelblechen bestehende Kern wird nun ordentlich geschichtet; über die schmalen Schenkel schiebt man je einen Spulenkörper. Eine 100 × 70 × 2,5 mm große Trägerplatte aus Hartpapier dient zur Aufnahme des Kernes, der mit UHU-plus einfach aufgeklebt wird (über Kleben mit UHU-plus siehe S. 39).

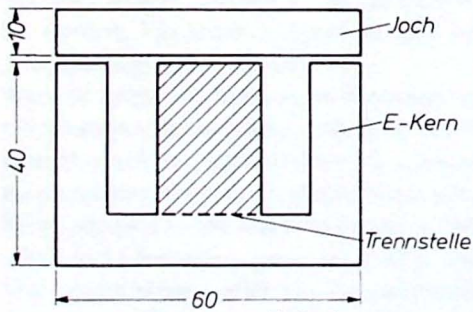


Abb. 85 Der E-Kern

Damit der Kern während der Abbindezeit nicht wegschwimmt, muß man ihn entsprechend fixieren. Die Bohrungen auf der Trägerplatte dienen zur Befestigung auf einer Grundplatte, zur Aufnahme von vier Polklemmen und zur Drahtdurchführung. Abb. 27, Tafel 15 zeigt die fertige Versuchsanordnung. Die Grundplatte besteht aus einem abgewinkelten Aluminiumblech; man kann sie ebenso aus einem Holzbrett fertigen. Sie sehen auf der Abbildung die Trägerplatte mit den Polklemmen. Jeder Spule sind zwei Polklemmen zugeordnet. Nun bewickelt man zwei Spulenkörper mit je 500 Windungen 0,5-mm-Kupferlackdraht. Eine Spule schließt man an 6,3 V Wechselstrom an, die andere Spule wird mit einem Wechselspannungs-Voltmeter verbunden. Wenn Sie die Spannungsquelle einschalten – das Voltmeter eignet sich gut hierfür –, wird das Voltmeter keine oder nur eine sehr geringe Spannung anzeigen. Die Anzeige erfolgt nur dann, wenn beide Spulen durch Aufeinanderstellen eng beisammen sind. Die Ursache hierfür ist die Tatsache, daß nur wenige Kraftlinien des Feldes der ersten Spule die zweite Spule durchsetzen. Man spricht in diesem Fall von einer losen Kopplung.

Zum zweiten Versuch schiebt man die Spulen auf die Schenkel des E-Kernes; die Anschlüsse bleiben so wie beim ersten Versuch. Nach dem Einschalten wird das Instrument sofort eine Spannung anzeigen, die jedoch kleiner als die eingestellte Spannung ist. Wenn man den E-Kern mit den bereitgestellten Jochblechen überbrückt, erhält man an dem Instrument eine Spannung von ca. 6 V, also eine etwas kleinere als die an die erste Spule gelegte Spannung. Die Ursache sind gewisse Verluste, auf die nicht näher eingegangen werden soll. Obwohl beide Spulen weiter auseinanderliegen als beim ersten Versuch, wurde durch das Eisen eine festere Kopplung bewirkt. Eisen hat die Fähigkeit, Kraftlinien sehr stark an sich zu binden. Sind beide Spulen von Eisen völlig umschlossen, so geht fast der gesamte Kraftlinienfluß durch das Eisen und nur ein verschwindend geringer Teil durch die Luft. Eisen bietet den magnetischen Kraftlinien einen kleinen Widerstand, Luft dagegen einen sehr großen. Schon bei einem sehr kleinen Abstand des Joches vom E-Kern macht sich ein Spannungsrückgang an der zweiten Spule bemerkbar, weil der Luftspalt einen höheren magnetischen Widerstand hat als das Eisen. Ersetzt man nun das Instrument durch ein Lämpchen 6,3 V/0,15 A, so kann man eine normale Helligkeit erzielen. Man erkennt, daß elektrische Energie über das Magnetfeld der ersten Spule zur zweiten Spule

übertragen wird, ohne daß eine leitende Verbindung zwischen beiden Spulen besteht. Damit hat man also einen Transformator (Übertrager), der elektrische Energie mit Hilfe eines Magnetfeldes überträgt. Der Transformator ist eines der wichtigsten Geräte der Elektrotechnik, mit dem man beliebig hohe Spannungen und Ströme aus einer Wechselstromquelle erzeugen kann. Ein dritter Versuch soll das beweisen.
Die zweite Spule wird nun mit 250 Windungen gleichen Drahtdurchmessers versehen. Mißt man bei unveränderter Versuchsanordnung die an dieser Spule vorhandene Spannung, so sieht man, daß sie nur mehr den halben Wert hat. Auch das Lämpchen wird nur mehr mit halber Leuchtkraft brennen. Man folgert daraus, daß das Verhältnis der Windungszahlen, das sogenannte Übersetzungsverhältnis Ü, beim Transformator eine große Bedeutung hat. Die Spannungen verhalten sich wie die Windungszahlen. Bei gleichen Windungszahlen ist das Windungszahlenverhältnis und somit auch das Spannungsverhältnis 1:1. Die Spannung an der ersten Spule stimmt mit der an der zweiten Spule überein. Beim jetzigen Versuch haben wir ein Übersetzungsverhältnis von 500:250 = 2:1. Die Spannung an der zweiten Spule beträgt also die Hälfte von der Spannung der ersten Spule. Somit wurde die Spannung heruntertransformiert.
Die noch vorhandene Leerspule wird mit 1000 Windungen bewickelt. Damit der Draht auf der Spule untergebracht werden kann, verwendet man einen Kupferlackdraht mit 0,25 mm Durchmesser. Ein vierter Versuch soll beweisen, daß man die Spannung auch herauftransformieren kann. Schließt man die Spule an, so wird das Instrument die doppelte Spannung gegenüber der ersten Spule anzeigen. Das Lämpchen wird nicht mehr angeschlossen, es würde durchbrennen. Das Windungszahlenverhältnis beträgt nun 500:1000 = 0,5. Man sieht, daß man die Spannung mit Hilfe eines Transformators beliebig erhöhen oder erniedrigen kann. Es kommt nur auf den Wert des Übersetzungsverhältnisses an. Unsere Versuche haben gezeigt, daß man mit einem Transformator Leistung übertragen kann. Es ist gleichgültig, ob man Spannungen herauf- oder heruntertransformiert. Das bedeutet, daß der Transformator an der Sekundärseite bei einer hohen Spannung nur wenig Strom, bei einer niedrigen Spannung dagegen viel Strom abgeben kann. Das Produkt aus Strom und Spannung bleibt stets unverändert. Man kann auf diese Weise der Sekundärseite eines Transformators Ströme entnehmen, die

die Wechselstromquelle niemals abgeben könnte. Wenn eine Wechselstromquelle z. B. maximal 1 A liefert, man aber 10 A benötigt, so schaltet man einen Transformator zwischen, der die Spannung auf den zehnten Teil herabsetzt. Man kann dann an der Sekundärseite einen zehnmal höheren Strom, also 10 A, entnehmen. Es muß dann nur an die Sekundärseite ein so kleiner Widerstand gelegt werden, daß die niedrige Spannung den erforderlichen hohen Strom erzeugen kann.

Mit einem Transformator kann man auch Widerstände transformieren. Ein einfaches Beispiel soll das erklären. Man stellt sich einen Abwärtstransformator mit dem Übersetzungsverhältnis Ü = 2:1 vor, an dessen Primärseite eine Wechselspannung von 10 V liegt. Die Spannung an der Sekundärseite beträgt dann 5 V. Legt man an diese Spannung einen Widerstand von 10 Ω, so wird ein Strom von 5:10 = 0,5 A fließen, was einer Leistung P von $5 \times 0{,}5 = 2{,}5$ W entspricht. Die Primärseite müßte demnach auch eine Leistung von 2,5 W aufnehmen, die von der 10 V-Stromquelle geliefert wird, wenn der Transformator verlustfrei arbeitet. Der Primärstrom beträgt also 2,5:10 = 0,25 A. Die Primärseite des Transformators wirkt jetzt so, als würde sie die Stromquelle mit einem Widerstand belasten, der sich aus Spannung und Strom zu R = 10:0,25 = 40 Ω ergibt. Der Transformator hat also den sekundärseitigen Belastungswiderstand von 10 Ω auf 40 Ω an der Primärseite herauftransformiert. Selbstverständlich kann man auch heruntertransformieren. Dann wird der Wert von Ü kleiner als 1, und an der Primärseite tritt ein entsprechend kleinerer Widerstand als an der Sekundärseite auf.

Damit soll der kurze Streifzug durch den Niederspannungsbereich beendet sein. Ein weiteres Eingehen auf dieses interessante Gebiet ist im Rahmen dieses Buches leider nicht möglich.

21. Spannungswandler

Die große Abhängigkeit vom elektrischen Strom bemerkt man erst, wenn eine Stromstörung auftritt. Große Betriebe, Kliniken, Warenhäuser und sonstige wichtige Versorgungsbetriebe behelfen sich dann durch den Einsatz von Notstromanlagen, die den fehlenden Netzstrom ganz oder teilweise ersetzen, je nach Leistung dieser Anlagen. Auch mittlere und kleine Betriebe verfügen heute über mobile Kleinanlagen, die einen Stromausfall überbrücken. Übrig bleibt eigentlich nur der private Haushaltsbereich, der, wenn die Stromunterbrechung länger andauert, beträchtlich gestört wird. Hier bietet sich für den jungen Elektriker ein interessantes Betätigungsfeld.
Mit selbstgebauten Zerhackern und Gleichspannungswandlern können im Haushalt elektrische Geräte betrieben werden, deren Ausfall bei einer Stromunterbrechung doch recht störend wäre. Den größten Nutzen an diesen Selbstbaugeräten hat man natürlich während eines Campingurlaubes, bei dem keine Netzspannung zur Verfügung steht.
Zerhacker und Gleichspannungswandler beruhen auf dem Grundprinzip, daß ein Transistor als Schalter in einem Kreis wirkt, der eine Induktivität enthält. Diese Spule wird mit einer bestimmten Frequenz vom Transistor ein- und ausgeschaltet. Infolge des damit verbundenen Induktionsvorganges entstehen an der Spule relativ hohe Spannungen, die man in dieser Form weiter verwerten oder aber gleichrichten kann. Unter Zerhackern versteht man somit allgemein alle Schwingschaltungen, die ein rechteckförmiges Signal abgeben, das entweder symmetrisch sein kann, wie z. B. beim Gegentaktzerhacker, oder unsymmetrisch wie beim Eintaktzerhacker. Wenn die zunächst zerhackte, also in eine Wechselspannung übergeführte Gleichspannung nach der Transformation wieder gleichgerichtet wird, spricht man von Spannungswandlern.

21.1 Spannungswandler für eine Batteriespannung von 1,5 Volt

Um die Arbeitsweise einer Zerhackerschaltung besser studieren zu können, empfiehlt es sich, die Schaltung Abb. 86 aufzubauen, die aber keineswegs nur ein Studienobjekt darstellt, sondern auch benutzt werden kann. Mit einer 1,5-V-Batterie kann man eine Glimmlampe betreiben, die zur Zündung mehr als 100 V benötigt. Glimmlampen sind für Isolationsprüfungen besonders gut geeignet. Je nach dem Isolationswert des zu prüfenden Materials leuchtet bei der Prüfung die Glimmlampe mehr oder weniger hell auf. Durch vergleichende Messungen mit hochohmigen Widerständen läßt sich der Isolationswiderstand des geprüften Materials leicht ermitteln. Auch hochohmige Übergangswiderstände an nicht ganz einwandfreien Kondensatoren lassen sich bequem feststellen. Hierzu sollte man die Glimmlampe mit einem Pertinaxrohr oder etwas Ähnlichem abdunkeln. Mit wenigen Bauteilen kann man ein kleines nützliches Gerät herstellen. Die Schaltung arbeitet recht einfach. Nach dem Einschalten fließt zunächst ein Kollektorstrom, weil die Basis eine negative Vorspannung erhält. Infolge der durch den Transformator bewirkten Rückkopplung zwischen Basis und Kollektorkreis wird der Stromanstieg unterstützt, gleichzeitig fließt ein großer Basisstrom, der den Kondensator C1 auflädt. (Wie eine Rückkopplung zustandekommt und arbeitet, wird in dem Buch »Radiobasteln für Jungen« des gleichen Verfassers, erschienen im gleichen Verlag, erklärt.) Damit wird die Spannung an der Basis immer positiver, so daß schließlich der Kollektorstrom auf Null zurückspringt. Der Kondensator C1 kann sich über den Widerstand R1 so weit entladen, bis die Basis genügend negativ wird und den Transistor wieder öffnet. Dann steigt neuerdings durch die Rückkopplung der Strom steil an, um anschließend wieder auf Null zurückzugehen. Die Zerhackerschaltung schwingt also selbständig hin und her, und im Transformator entsteht eine wechselstromähnliche Spannung, die man beliebig herauf- oder heruntertransformieren kann. Je nach Bemessung der Zeitkonstante, die sich aus den Werten von R1 und C1 ergibt, entstehen größere oder kleinere Schwingfrequenzen, die vom Transformator wesentlich beeinflußt werden.

Das wichtigste Bauteil in einer Schwingschaltung ist der Transformator mit seinen Wicklungen. In der Schaltung Abb. 86 wird er durch Siferrit-

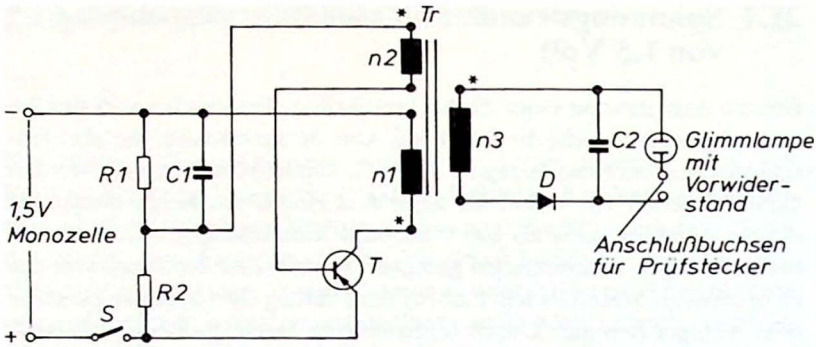


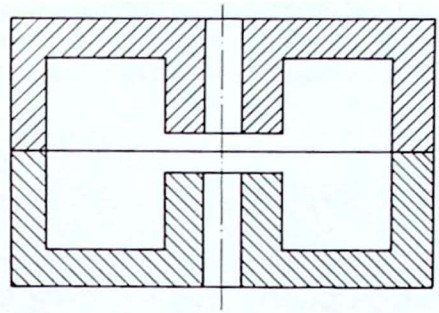
Abb. 86 Spannungswandler für eine Batteriespannung von 1,5 Volt

Technische Daten zu Abb. 86
Batteriespg. 1,5 V
Batteriestrom 100 mA
Schwingfrequenz 25 kHz
Ausgangsspg. 150 V
Laststrom 0,5 mA

Stückliste zu Abb. 86
R1 = Widerstand 1,6 kOhm, 1/8 W
R2 = Widerstand 100 Ohm, 1/4 W
C1 = Kondensator 0,1 µF
C2 = Kondensator 0,1 µF
T = Transistor AC 151 oder ähnlich
D = Diode BAY 46 oder ähnlich
TR = Siferrit-Schalenkerne B 65541 K OOOO-R 026

Spulendaten
n1 = 12 Windungen 0,28 CuI
n2 = 10 Windungen 0,18 CuI
n3 = 300 Windungen 0,1 CuI

Abb. 87 Schalenkerne im Schnitt



Schalenkerne gebildet. Als Schalenkerne bezeichnet man Topfkerne, bei denen die Teilungsebene in halber Höhe senkrecht zur Achse verläuft, so daß zwei schalen- oder napfförmige Teile entstehen, siehe Abb. 87. Das Schalenmaterial besteht aus magnetischen, nichtleitenden Metalloxyden. In komplizierten Mischverfahren werden Nickel-, Kobalt-, Mangan- und Magnesiumsubstanzen zusammengegeben. Durch Beigabe entsprechender Bindemittel wird das pulverförmige Rohmaterial unter hohem Druck in die gewünschte Form gebracht und bei hohen Temperaturen gebrannt. Zu den Schalenkernen werden Wickelkörper aus Kunststoff gefertigt, deren Abmessungen bewirken, daß die Drahtwicklung in Schalenkernen völlig vom Kernwerkstoff umschlossen ist. Dadurch erzielt man sehr hohe Permeabilitäten.

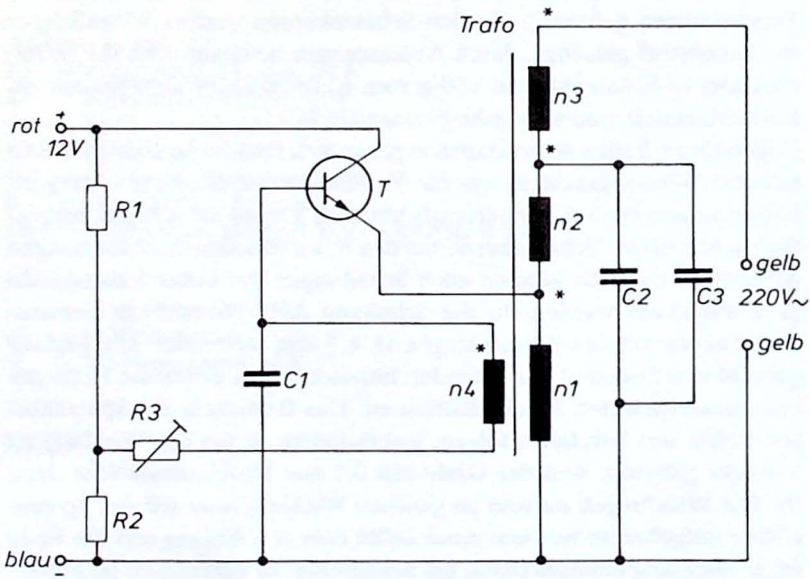
Gegenüber offenen Kernformen ergeben sich für gleiche Induktivitäten kleinere Windungszahlen, was die Verluste in der Wicklung verringert. Ferner zeigen die Schalenkerne als weiteren Vorteil ein geringes magnetisches Streufeld. Schalenkerne werden in verschiedenen Abmessungen hergestellt, dadurch können auch Schaltungen mit hoher Leistungsabgabe aufgebaut werden. In der Schaltung Abb. 86 wird ein Siemens-Schalenkern mit den Abmessungen 14 × 8 mm verwendet. Die Maßangabe 14 mm bedeutet den Kerndurchmesser, 8 mm geben die Höhe der aufeinandergelegten Schalenhälften an. Das Bewickeln des Spulenkörpers sollte mit Sorgfalt erfolgen, insbesondere ist bei der Wicklung n3 Vorsicht geboten, weil der Draht mit 0,1 mm Durchmesser sehr dünn ist. Die Wicklungen müssen im gleichen Wicklungssinn auf den Spulenkörper aufgebracht werden. Auch sollte man den Anfang und das Ende jeder Wicklung kennzeichnen, um Schaltfehler zu vermeiden. Im Schalt-

bild sind die Wicklungsenden teilweise mit sternförmigen Punkten versehen; das sind die Punkte gleicher Polarität der einzelnen Spulen. Sie kennzeichnen gleiche Wicklungsenden bei durchwegs gleichem Wicklungssinn.

21.2 50 Hz-Sinusgenerator 12 V/220 V, 15 W

Fünfzehn Watt Leistung bei 220 V Wechselspannung ist zwar noch kein sehr außergewöhnlicher Wert; er ist jedoch groß genug, um einem Anfänger mit Hilfe des in Abb. 88 gezeigten Sinusgenerators viele Versuche zu erlauben. Dazu ergeben sich trotz der relativ kleinen Leistung zahlreiche Möglichkeiten zu einer praktischen Nutzanwendung z. B. bei Stromausfall.
Was macht etwa ein Aquarienliebhaber, der wertvolle Exoten in gleichmäßig temperiertem Wasser züchtet, bei plötzlichem Stromausfall?

Abb. 88 50 Hz-Sinusgenerator 12 V/220 V, 15 W



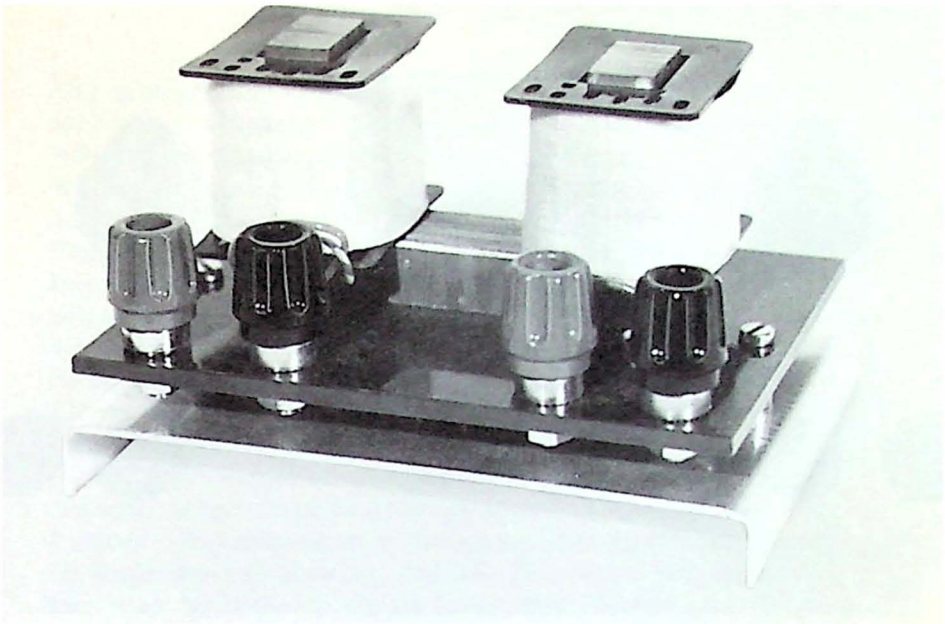
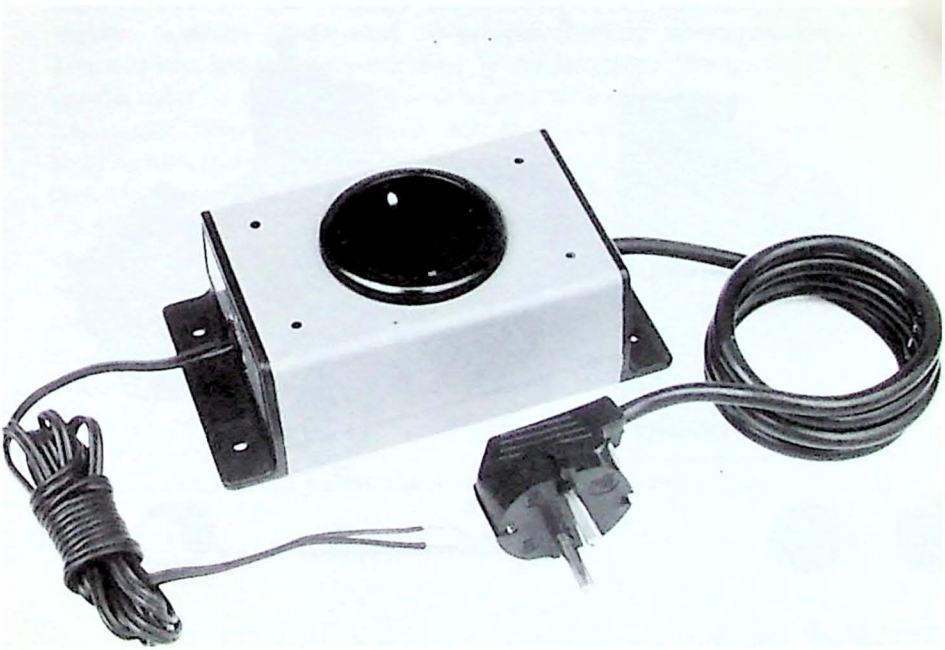


Abb. 27: Versuchsanordnung zur Spannungsübertragung im Niedervoltbereich

Tafel 15

Abb. 28: Das Kosmodyne B-Netzsteuergerät



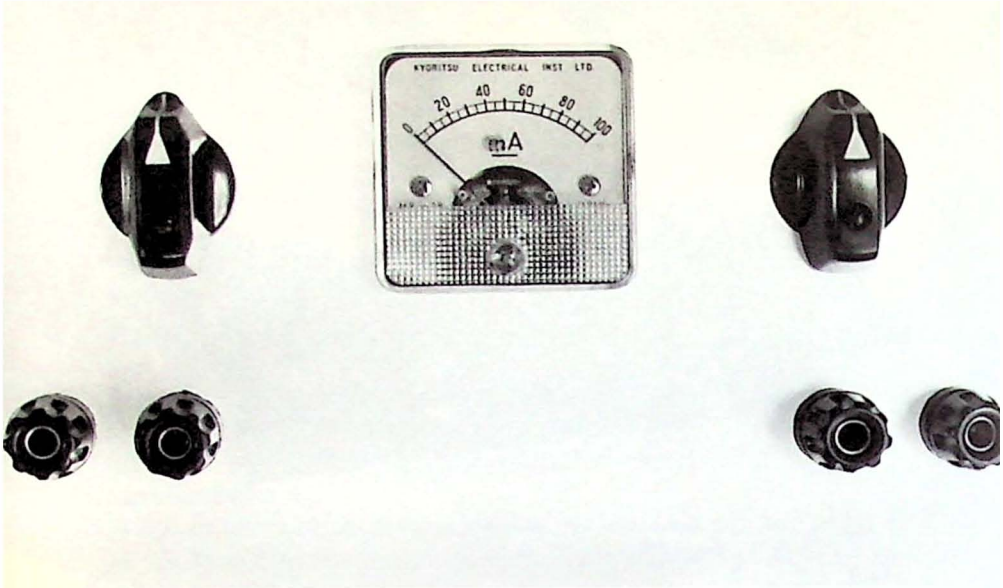
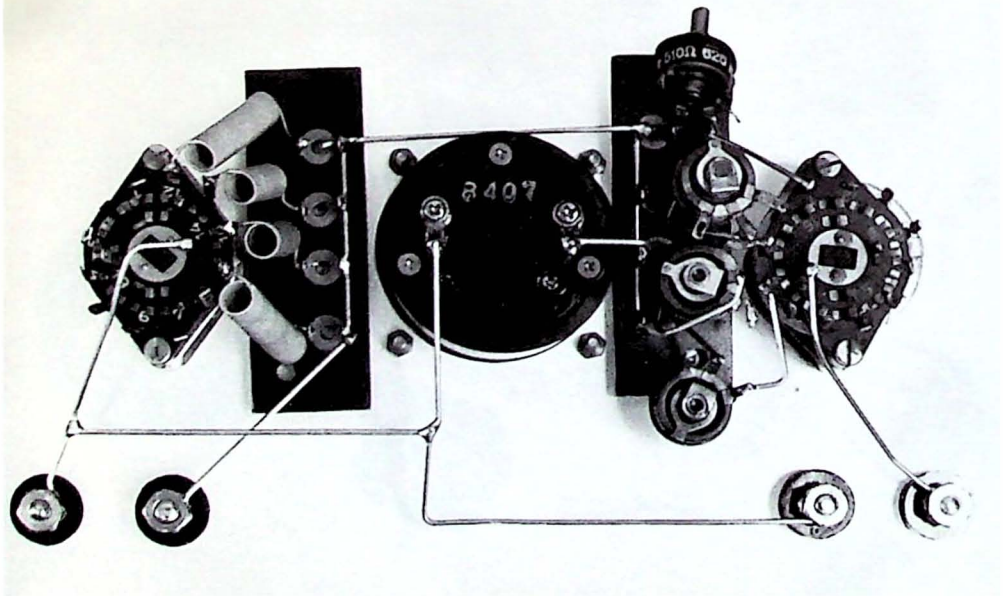


Abb. 29: Bauvorschlag zu einem Vielfach-Meßinstrument, Frontansicht

Tafel 16

Abb. 30: Bauvorschlag zu einem Vielfach-Meßinstrument, Innenansicht



Nun, solange dieser Vorgang nur kurze Zeit dauert, besteht kein Anlaß zur Sorge. Bei längerem Stromausfall wird der Besitzer des Aquariums jedoch um seinen wertvollen Fischbestand bangen.
Wie hilft sich ein Fotoamateur, der gerade Filme entwickelt und plötzlich ganz im Dunkeln steht? Zunächst ist Dunkel wohl ein wichtiger Begriff für Fotoarbeiten – man spricht ja schließlich von einer Dunkelkammer – aber ohne das spärliche Licht der roten Dunkelkammerlampe geht es eben nicht.
Wie hilflos ist man, wenn der netzgespeiste Radiowecker streikt, der Elektrorasierer ausfällt, der Briefträger vergeblich auf die elektrische Klingel drückt und auf das Öffnen des elektrischen Türöffners oder die Frage aus der Rufanlage wartet.
Diese wenigen Beispiele, von denen sich bestimmt noch viele andere finden lassen, zeigen die große Abhängigkeit vom elektrischen Strom. Nun kommen in den aufgezeigten Beispielen nur Elektrogeräte zum Einsatz, die wenig Strom verbrauchen. Auf diese braucht man nicht zu verzichten, wenn der in diesem Kapitel beschriebene Notstromgenerator zur Verfügung steht. Der hellhörig gewordene Jungelektriker wird sich zwar fragen, warum er nur einen Generator mit 15 Watt Leistungsabgabe bauen soll, wenn er für Fernseher, Stereoanlage, Tiefkühlschrank, Ölheizung usw. 150 Watt und mehr benötigt.
Dazu ist leider zu sagen, daß dem Selbstbau leistungsfähiger Spannungswandler Grenzen gesetzt sind. Es mangelt nicht an leistungsstarken Transistoren, sondern an geeigneten Transformatoren. Die Leistungsabgabe eines Spannungswandlers ist in weiten Grenzen nur vom angeschlossenen Übertrager abhängig, und den gibt es bedauerlicherweise nicht handelsüblich in den Fachgeschäften. Dort werden vielmehr komplette Bausätze mit recht interessanten elektrischen Werten angeboten. Für Spannungswandler mit 150 W Dauerleistung (kurzfristig 200 W) muß man schon einen beträchtlichen Geldbetrag aufwenden, der in den meisten Fällen dem jungen Elektrotechniker leider nicht zur Verfügung steht.
Spannungswandler, die mit Hilfe elektronischer Schaltungskniffe ohne Transformator arbeiten, sind etwas billiger; jedoch ist die Primärstromaufnahme so groß, daß man den Erwerb eines derartigen Bausatzes gründlich überdenken muß.
Eine Kompromißlösung bietet die Anwendung der Schaltung nach Abb.

88. Sie ist für den Anfänger zum Einstieg in diese interessante Technik sicher am geeignetsten.

Der Sinusgenerator arbeitet mit dem Leistungstransistor 2 N 3055 in Kollektorschaltung im sogenannten Eintakt-B-Betrieb. Eine Übersteuerung des Transistors bei Laständerungen wird dadurch verhindert. Die Steuerspannung für den Transistor wird durch eine Rückkopplungswicklung auf dem Transformator erzeugt. Dadurch ist der Generator kurzschlußfest, da bei ausgangsseitigem Kurzschluß die Steuerspannung zusammenbricht und der Transistor gesperrt wird. Mit dem Vorwiderstand R3 können Stromverstärkungsstreuungen ausgeglichen werden.

Eintaktspannungswandler geben eine annähernd konstante Leistung ab, die in gewissen Grenzen unabhängig vom Lastwiderstand ist. Wichtig sind die zwei parallel geschalteten Schwingkreis-Kondensatoren C2 und C3 mit einer Kapazität von je 6,8 µF. Sie bestimmen zusammen mit der Transformatorwicklung n1 und n2 die Schwingfrequenz von 50 Hz. Eine geringfügige Frequenzänderung tritt dann auf, wenn der Lastwiderstand eine Blindkomponente (Induktivität einer Spule usw.) enthält; diese kann aber vernachlässigt werden.

Die Stückliste zeigt, daß nur wenige Bauteile benötigt werden.

R1	Schichtwiderstand 56 Ω/2W
R2	Schichtwiderstand 4,7 Ω/2 W
R3	Regelwiderstand 10 Ω/4 W
C1	Kunstfolien-Kondensator 1 µF/63 V
C2	Kunstfolien-Kondensator 6,8 µF/63 V
C3	Kunstfolien-Kondensator 6,8 µF/63 V
4	Stück Polklemmen Farbe rot, blau und 2 × gelb (Belastung 6 A)
T	Leistungstransistor 2 N 3055 (mit 1 Satz Befestigungsteile wie Glimmerscheibe und Isoliernippel)
1	Stück Isolierkappe für Transistorgehäuse TO 3
1	Transformatorkern M65 Dyn. Bl. IV, 0,5 mm Luftspalt mit dazu passendem Spulenkörper
	Kupferlackdraht mit verschiedenem Durchmesser (Siehe Tabelle)
1	Gehäuse nach freier Wahl
	Diverses Kleinmaterial
	Draht und Wickeltabelle
	n1 65 Wdg. 1,2 mm Drahtdurchmesser
	n2 650 Wdg. 0,3 mm Drahtdurchmesser
	n3 2050 Wdg. 0,2 mm Drahtdurchmesser
	n4 100 Wdg. 0,5 mm Drahtdurchmesser
	n1 und n4 gemeinsam wickeln (bifilar)

Das Bewickeln des Transformator-Spulenkörpers stellt für den Anfänger eine recht ungewohnte Tätigkeit dar. Wer davor zurückschreckt, sollte sich am besten mit einem erfahrenen Freund zur gemeinsamen Arbeit zusammentun. Er kann sich auch von einem Versandgeschäft die Anschrift einer Firma, die Transformatoren in Kleinserien herstellt, geben lassen. Für jeden, der es versuchen will, gilt, daß die Arbeit um so leichter gelingt, je besser man mit Werkzeugen und Materialien ausgestattet ist.

Der praktisch veranlagte Selbstbauer wird eine kleine Handbohrmaschine zum Wickeln verwenden; ein kleines Zählwerk – im Fachhandel billig angeboten – leistet gute Dienste. Auf entsprechende Länge abgesägte Gewindestangen eignen sich zur Aufnahme des Wickelkörpers und zum Abspulen des in kleinen Rollen zur Verfügung stehenden Kupferdrahtes. Beim Wickeln der in der Tabelle angegebenen Windungen muß man darauf achten, daß jede Windung ordentlich neben der nächsten zu liegen kommt. Das gilt besonders für die Drähte mit dickerem Durchmesser. Erstellt man sogenannte wilde Wicklungen, so bringt man in den meisten Fällen die erforderliche Anzahl auf dem Spulenkörper gar nicht unter; die Arbeit war dann vergeblich. Nicht vergessen darf man beim Wickeln die Kennzeichnung der einzelnen Anfänge und Enden der entsprechenden Wickel. Im Schaltbild Abb. 88 sind die Windungsanfänge jeder Wicklung mit einem Sternsymbol versehen. Danach sollte man sich unbedingt richten.

Das Beschichten der fertig gewickelten Spule mit den Kernblechen erfolgt wechselseitig; es wird also jeweils ein Blech von links und dann von rechts in den Spulenkörper geschoben. Auf diese Weise erhält man am Ende einen fertigen Transformator ohne Luftspalt. Die wichtigste und wohl auch schwierigste Arbeit ist damit abgeschlossen.

Die übrigen Bauteile lassen sich am besten auf kleinen Lötösenbrettchen unterbringen und werden mit isolierter Schaltlitze entsprechend der Schaltung miteinander verbunden.

Der Leistungstransistor 2 N 3055, dessen Anschlüsse und Abmessungen in Abb. 89 gezeigt sind, wird im Betrieb sehr warm. Da Wärme ein großer Feind eines jeden Transistors ist, muß sie mit einem Kühlblech, auf dem der Transistor befestigt wird, abgeführt werden. Die Kühlfläche, die man aus einem 1,5 mm starken Aluminiumblech herstellen kann, soll ca. 200 cm^2 betragen. Biegt man das Blech im Schraubstock U-för-

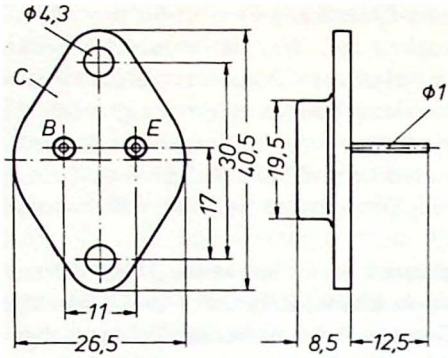


Abb. 89 Der Leistungstransistor 2N3055, Anschlüsse und Abmessungen (M 1:1) des Normgehäuses Jedec T03 (DIN 3A2)

mig zurecht, so bringt man die Einheit bequem in einem passenden Gehäuse unter.

Praktisch ist ein Metallgehäuse, das zugleich zur Kühlung herangezogen wird. Natürlich muß dann der Transistor isoliert auf der Gehäuserückwand befestigt werden. Da der Kollektor des 2 N 3055 leitend mit dem Gehäuse verbunden ist, sollte man sinnvollerweise zur Vollisolierung eine Schutzkappe verwenden. Der nunmehr fertiggestellte Sinusgenerator besitzt recht interessante technische Daten, wie nachstehende Siemensinformation zeigt.

Technische Daten:
Batteriespannung 12 V
Batteriestrom 2,35 A
Ausgangsspannung 220 V
Frequenz 50 Hz
Nennlast 10–15 W
Kollektorspitzenstrom 8–10 A
Transistorverlustleistung 8 W

Eine Autobatterie, die sich in gutem Ladezustand befindet, liefert mühelos den relativ geringen Batteriestrom.

22. Kniffe für die Elektrizität im Haushalt

Die Ausführungen des relativ kleinen Buches »Elektrotechnik für Jungen« gehen dem Ende entgegen. Das riesige Gebiet der Elektrotechnik konnte nur ein klein wenig berührt werden. Wollte man alle Teilgebiete, aus denen die allgemeine Elektrotechnik besteht, ausführlich beschreiben, so entstünde ein mehrbändiges Werk, das trotz aller Sorgfalt recht bald Mängel aufweisen würde, Mängel auf den Gebieten der Schwachstromtechnik, der Fernsprechtechnik und vor allem der allgemeinen Elektronik. Ein heute beschriebenes Verfahren, eine Schaltungsbeschreibung oder die Vorstellung neuer Bauelemente, kann morgen bereits überholt sein. Was bleibt, sind die allgemeinen Grundlagen der Elektrizität und diese wurden im Rahmen des Möglichen ausführlich behandelt. Zum Abschluß folgen noch einige Schaltbeispiele ohne Aufbaubeschreibungen. Dadurch soll der junge Leser die Möglichkeit erhalten, eigene Ideen zu verwirklichen. Das aus diesem Buch Erlernte wird ihm dabei sicher helfen.

22.1 Ein LED-Blinker

Sei es zum spielerischen Einsatz für die Modelleisenbahn oder als Markierung in einem dunklen Raum – einen LED-Blinker kann man immer gut gebrauchen. Was eine LED ist, wurde auf S. 78 ausführlich beschrieben. Abb. 90 zeigt die Schaltung. Vorsicht, hier wird mit der Netzspannung von 220 V gearbeitet! Über den Vorschaltwiderstand R1 und die Diode D wird der Kondensator C aufgeladen. Der Diac* enthält zwei gegeneinander geschaltete Diodenstrecken, die während der Aufladе-

* Diac = Diode-AC-Switch = Spezialdiode mit den Eigenschaften einer Glimmlampe

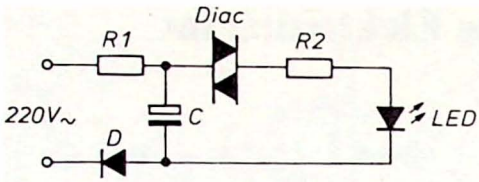


Abb. 90 Ein LED-Blinker

Stückliste zu Abb. 90
R1 = Widerstand 470 kOhm
R2 = Widerstand 680 Ohm
Diac = ER 900
Diode D = 1N4003
Elektrolyt-Kondensator C = 25 µF/35 V

zeit gesperrt sind. Erreicht die Ladespannung am Kondensator die Höhe der Zündspannung des Diac, so wird dieser leitend und der Entladestrom kann über den Begrenzungswiderstand R2 zur LED fließen. Die LED leuchtet auf und zwar so lange, bis der Diac auf Grund der kleiner werdenden Kondensatorspannung wieder gesperrt wird. Da die Blinkfrequenz von den Zeitkonstanten R1/C und der LED abhängig ist, kann man die Blinkfolge durch entsprechende Auswahl der Bauteile verändern. Der Versuch lohnt sich; in die Schaltung darf aber nur dann eingegriffen werden, wenn sie vom Netz abgeschaltet ist.

22.2 Wenn die dritte Leitung fehlt

»Müller, 1 × läuten« – »Maier, 2 × läuten«. Diesen Hinweis auf ein bestimmtes Klingelsignal kann man auf vielen Türen lesen. Da die Klingelanweisungen nicht immer richtig eingehalten werden, wäre die Installation einer zweiten Klingel sehr wünschenswert. Aber immer fehlt die dritte Leitung, die zur Betätigung einer zweiten Glocke erforderlich ist. Diese dritte Drahtleitung kann aus den verschiedensten Gründen nachträglich oft nicht mehr in das Leitungssystem installiert werden. Mit einem billigen elektronischen Kniff kann man diese Schwierigkeiten beseitigen.
Abb. 91 zeigt, wie man mit 2 vorhandenen Klingelleitungen zwei Klingeln unabhängig voneinander läuten lassen kann. In der Schaltung wird

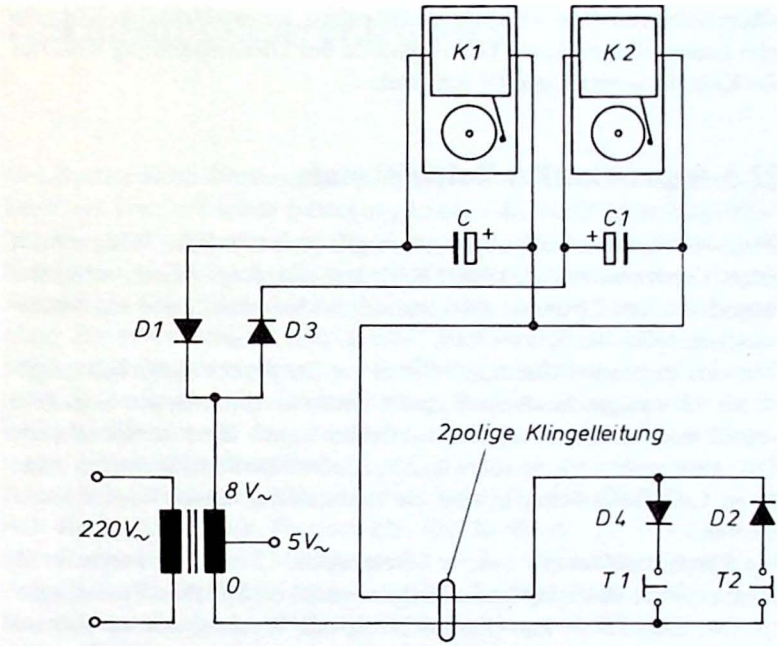


Abb. 91 Dioden als Ersatz für die dritte Leitung

Stückliste zu Abb. 91
Dioden D1–D4 = 1N4148 oder 1N4001
Elektrolyt-Kondensatoren C und C1 = 10 µF/16 V

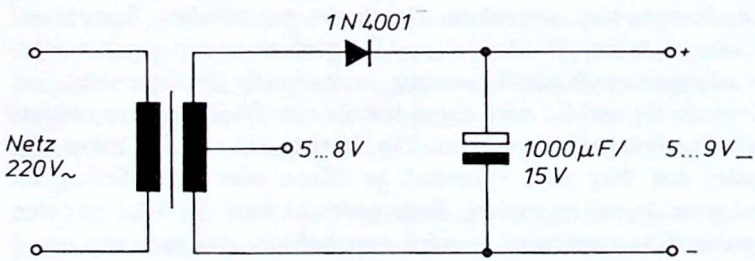
die Diodenpolarität ausgenützt. Durch die gegenläufige Zusammenschaltung der beiden Dioden D1 und D3 wird die vom Klingeltransformator abgegebene Wechselspannung wechselseitig gleichgerichtet. An die Klingeln K1 und K2 wird damit jeweils eine Gleichspannung unterschiedlicher Polarität abgegeben. Die Dioden D2 und D4 haben die Aufgabe, den Weg zum Stromfluß zu öffnen oder zu schließen. Es kommt ganz darauf an, welche Taste gedrückt wird. Verfolgt man den Stromverlauf systematisch, so wird verständlich, daß man mit nur 2

Klingelleitungen ohne weiteres zwei voneinander unabhängige Klingeln zum Läuten bringen kann. Die Welligkeit der Gleichspannung wird mit den Kondensatoren C und C1 geglättet.

22.3 Superschneller Batterieersatz

Wenn eine Batterie verbraucht ist, so gilt grundsätzlich: »Weg damit, Ersatz durch eine neue«. Dieser Rat nützt allerdings nichts, wenn der Batterietod zum Zeitpunkt geschlossener Läden eintritt und ein Neuerwerb unmöglich ist.
Wer eine Bastelkiste besitzt, wird in dieser Fundgrube sicherlich ausgediente oder ausgeschlachtete Bauteile entdecken, mit denen man sehr schnell eine Ersatzstromquelle herstellen kann. Sind entsprechende Teile nicht vorhanden, so sollte man zumindest die Schaltung nach Abb. 92 im Gedächtnis behalten und die Beschaffung dieser Bauteile vormerken.
Ein Klingeltransformator, wie er bereits auf S. 17 erwähnt wurde, stellt normalerweise den billigsten im Elektrohandel erhältlichen Transformator dar. Eine Diode zur Gleichrichtung des Wechselstromes und ein Elektrolytkondensator ergeben die Gleichspannungsquelle. Der Zusammenbau dieser Teile wird auch dem Ungeübten in wenigen Minuten gelingen. Der Elektriker mit Erfahrung wird diese provisorische Lösung zwar ganz gut finden, sicherheitshalber aber wird er die kleine Schaltungseinheit in einem Isoliergehäuse unterbringen, denn man arbeitet ja mit der gefährlichen Netzspannung von 220 V. Davor soll – wie schon so oft – wieder einmal gewarnt werden.

Abb. 92 Batterieersatz in wenigen Minuten



Bezugsquellenverzeichnis

Der Bastler kann Bauelemente nicht direkt vom Hersteller beziehen. Er kann sich aber mit seiner Bestellung an eines der nachfolgend aufgeführten Versandhäuser wenden. Viele dieser Firmen bringen ausführliche Kataloge und Jahrbücher heraus. Man sollte sich unbedingt von einigen Firmen ein Exemplar schicken lassen. Abzuraten ist von Bestellungen ohne Bestellunterlagen und genaue Bestellnummern. Der Versand erfolgt zumeist per Nachnahme. Beifügung von Rückporto ist bei technischen Anfragen die Voraussetzung für eine Beantwortung. Bitte beachten Sie den von den einzelnen Lieferfirmen unterschiedlich festgelegten Mindestbestellwert!

Arlt-Radio-Elektronik, Kaiser-Friedrich-Str. 17a, 1000 **Berlin** 10
Arlt-Radio-Elektronik, Postfach 225, 1000 **Berlin** 44
Arlt-Radio-Elektronik, Münchener Str. 4–6, 6000 **Frankfurt/Main**
Arlt-Radio-Elektronik, Katharinenstr. 22, 7000 **Stuttgart** 1
Balü-Electronic, Burchardplatz 1, 2000 **Hamburg** 1
Bühler-Elektronik, Gunzenbachstr. 33b, 7570 **Baden-Baden**
Bühler-Elektronik, Marc-Aurel-Str. 2a, A-1010 **Wien**
Bühler-Elektronik, Gartengasse 4, A-8010 **Graz**
Bühler-Elektronik, Neutorstr. 17, A-5020 **Salzburg**
Conrad Electronic, Postfach, 8452 **Hirschau**/Bayern
Conrad Electronic Center, Schillerstr. 20–22, 8000 **München** 2
Conrad Electronic Center, Leonhardstr. 3, 8500 **Nürnberg**
Dahms-elektronik, Postfach 1120, 6806 **Viernheim**
Elektronik-Bedarf Norbert Schröder, Postfach 89, 6392 **Neu-Anspach** 1
Elektronik-Schnellversand Michael Altmann, Postfach 1143, 6200 **Wiesbaden**
elephone-electronic-gmbh, Postfach 1263, 7250 **Leonberg**
J. Findler & Sohn, Widerstandsdrähte, Schwanthalerstr. 25, 8000 **München** 2
Frank Elektronik GmbH, Gugelstr. 129, 8500 **Nürnberg** 40
gw-electronik, Postfach 1645, 4600 **Dortmund** 1
Grieder-Bauteile, Peter-Merian-Str. 58, CH-4002 **Basel**

Hamburger Elektronik-Vertrieb, Wandsbeker Chaussee 98, 2000 **Hamburg** 76
HAPE-Schmidt-Elektronik, Postfach 1552, 7888 **Rheinfelden**
heho elektronik, Kirchenweg 10, 7957 **Schemmerhofen** 1
Holzinger-Electronik GmbH, Schillerstr. 25, 8000 **München** 2
isert-electronic, Bahnhofstr. 33, 6419 **Eiterfeld** 1
Dipl. Ing. B. König, Elektronik-Vertrieb, Winterstetten 2, 8311 **Niederviehbach**
Erich-Willi Meyer, Postfach 174/1, 6343 **Frohnhausen**
Meyer-Elektronik, Postfach 110168, 7570 **Baden-Baden** 11
Mira-Bauteile-Bausätze K. Sauerbeck, Beckschlagerweg 9, 8500 **Nürnberg**
Nadler Elektronik GmbH, Bornstraße 22, 4600 **Dortmund**
OK-Elektronik, Postfach 1139, 4531 **Lotte** 1
Oppermann-Elektronik, Dühlfeld 29, 3051 **Sachsenhagen**
playtronic gmbh, Am Stimmbeck 2, 2730 **Heeslingen**
Pollin-Elektronik, Postfach 28, 8071 **Pförring**
profil-electronic, Postfach 1266, 8872 **Burgau**
Eugen Queck, Augustenstr. 6, 8500 **Nürnberg**
r + r electronic, Adlerstraße 55, 6900 **Heidelberg** 1
Radio-Rim, Bayerstraße 25, 8000 **München** 15
Klaus Reichelt, Vertrieb elektronischer Bauteile, Postfach 3210, 2940 **Wilhelmshaven** 31
Schuberth Elektronik-Versand, Postfach 260, 8660 **Münchberg**
STATRONIC, Postfach 200 276-E1, 2000 **Hamburg** 20
M. Taubmann, Vordere Sterngasse 11, 8500 **Nürnberg**
TEHAKA, Postfach 211, 8900 **Augsburg** 1
Tennert-Elektronik, Postfach 2222, 7056 **Weinstadt-Endersbach**
Thomsen-Elektroník, Schulstr. 73, 6349 **Nenderoth**
Trafo-Löwe-Elektronik, Postfach 2150, 4174 **Issum** 2
unitrade-Elektronik, Börsenstraße 17, 6000 **Frankfurt/Main**
Völkner-Elektronik, Postfach 5320, 3300 **Braunschweig**
U. Weber, Transformatoren, Kurfürstenstr. 20, 4900 **Herford**

Sachregister

Abisolieren 30
Abwärtstransformatoren 73, 112
Akkumulatoren 57
Alarmanlagen 185
Alkali-Mangan-Zink-Batterie 55
Alleskleber 39
Ampere 44
Anker 167
Anode 13, 58
Asynchronmotoren 174
Aufwärtstransformatoren 112
Aushärtung 40

Bananenstecker 37
Batterieersatz 216
Betriebsspannung 67
Bimetall 113
Blitz 14
Bohren 96
Brückengleichrichter 92
Buchsen 36
Bürsten 167, 169

Christbaumbeleuchtung 133
Coulomb 12
Curie-Effekt 42

Dämmerungsschalter 148
Dauermagnete 154, 160
Depolarisation 50
Diac 213
Donner 15
Doppelweggleichrichter 91
Drahtwiderstände 102
Dreheisensystem 193
Drehspulsystem 192

Edison 130
Edison-Akkumulator 62
Einbau-Kaltgeräte-Steckdose 87
Einbruchsicherungen 148
Einstellregler 108
Eintaktspannungswandler 210
Eintaktzerhacker 202
Einweggleichrichter 90
Elektrische Ladung 12
Elektrische Leistung 48
Elektrischer Schlag 16
Elektrisches Licht 129
Elektrisierungsgefahr 64
Elektrizität 11, 43
Elektrochemie 26
Elektroden 44, 53, 58
Elektrolyse 58
Elektrolyt 27, 53, 58
Elektromagnete 25, 154, 157, 167
Elektromagnetisches Feld 81
Elektromagnetismus 153
Elektron 12, 43
Entladung 59
Entladungsdauer 59
Erdschluß 124
Erregung 170

Fallklappen 180
Farbcode 109

Fassungsvermögen 59
Fehlerstrom-Schutzschalter 124
Festnieten 115
Festwiderstände 108
Fotoelektrischer Effekt 147
Fotowiderstand 147

Galvani 49
Galvanischer Strom 49
Galvanisches Element 49
Galvanometer 24
Galvanoplastik 27
Gasentladung 69
Gasentladungslampen 130
Gegentaktzerhacker 202
Generatoren 73
Geräteklemmen 37
Gleichrichter 88
Gleichspannung 20
Gleichspannungswandler 202
Glimmlampen 19, 69
Glühfarbe 131
Glühlampe 130, 131
Glühtemperatur 131
Grundieren 35

Halbleiter 89
Halbleiterelemente 89
Halbleitergleichrichter 89
Hauptschluß-Elektromotor 172
Hochspannung 66, 70
Hochspannungsanlagen 71
Holzbearbeitung 31

IEC-Norm 110
Imprägnieren 35
Induktion 168
Induktionsspannung 164
Isolatoren 12, 45, 89
Isoliermaterialien 35
Isolierstoffe 32

Kabelschuhe 38
Kapazität 59
Kathode 13, 58
Klebearbeiten 38
Klebemittel 38
Kleinrelais 80
Kleintransformatoren 184
Klingeltransformatoren 17, 184, 216
Körner 175
Körperschluß 124
Körperwiderstand 73
Kohleelektrode 53
Kohle-Zink-Batterie 55
Kollektor 169
Kommutator 169
Kompaß 175
Kompaßnadel 177
Konstantan 102
Kopplung 198
Kopplung, lose 199
Kosmos-Netzsteuergerät 149
Krokodilklemmen 38
Kupplungen 37
Kurzschluß 124

Ladegleichrichter 99
Ladestrom 59
Ladung 59
Ladungsdauer 59
Läutwerke 178, 180
Laubsägearbeiten 31

Leclanché-Element 50
LED 78, 213
LED-Blinker 213
Leerlaufspannungen 97
Leistung 48, 66
Leiter 12, 45, 89
Leitungsprüfer 75, 79
Leitungssucher 81
Leitungswiderstand 102
Leuchtdiode 78
Leuchtröhren 69
Licht 129, 143
Lichtnetz als Stromquelle 63
Lichtschranke 148
Lichtsteuergerät 146
Lichttransmission 136
Lichtumlenker 135
Lichtwellenlänge 129
Lichtzerlegung 129
Lötkolben 41
Lötösen 37
Lötstellen, kalte 41
Lötvorgang 40
Luftspalt 117

Magnastat 42
Magnete 153
Magnetfeld 23, 160, 168
Magnetische Kraftlinien 160
Magnetisieren 160, 177
Magnetismus 153
Magnetnadel 161, 177
Magnetnadel-Ablenkung 23
Magnetspule 163
Magnetstein 154
Magnetwerkstoffe 157
Manganin 102
Massewiderstände 102, 108
Mehrbereichsvoltmeter 195
Meßinstrumente 192
Mikrofone 185
Mikrofongehäuse 188
Minuskontakt 55
Monozellen 54

Nanometer 129
Nebenschlußmaschinen 170
Netzspannung 63
Netzspannungsregler 110
Nichtleiter 12, 45
Nickel-Cadmium-Akkumulatoren 62, 146
Nickel-Eisen-Akkumulatoren 62
Nickelin 102
Nickelindraht 106
Nickelindrahtwiderstände 107
Niederspannung 70
Nieten 114
Nietverbindungen 38
Nordlicht 14
Notstromgenerator 209
Nulldurchgang 140

Ohm 46
Ohmsches Gesetz 47

Parallelschaltung 131, 133
Parallelwiderstände 195
Pluskontakt 55
Polarisation 50
Pol, negativer 13
Pol, positiver 13
Potentiometer 108
Primärelemente 57

Pulsation 92

Quecksilberoxid-Knopfzellen 55

Reed-Relais 165
Reibungswärme 18
Reihenschaltung 132, 133
Reihenschlußmaschinen 171
Relais 162
Relaissteuerung 79
Remanenz 163
Restmagnetismus 163
Rohstoffe 32

Sägeblätter 31, 32
Sammler 57
St. Elms-Feuer 15
Sekundärelemente 57
Selbstauslöser 119
Selengleichrichter 88
Selengleichrichterzelle 90
Sicherungen 122
Sinusgenerator 206
Solarzellen 143
Sonnenbatterie 145
Synchronmotoren 174
Schalenkerne 205
Schaltbild 74
Schalter 121
Schaltsymbole 74
Schaltuhr 125
Schaltungsentwurf 74
Schichtwiderstände 102, 108
Schieberegler 109
Schmelzleiter 123
Schmelzsicherung 122
Schmiermittel 96

Schutzschalter, automatischer 123
Spannung 43
Spannungsmessung 194
Spannungsverhältnis 200
Spannungswandler 202
Spezifischer Widerstand 105
Spulenkörper 211
Spulenkörper, Bewickeln von . . . 211

Starkstrom 64, 66
Starkstromstecker 66
Steckdosen 36
Stoßgeneratoren 73
Stroboskopischer Effekt 136
Strom 12, 44, 143
Stromkreis 18
Stromleiter 13
Strommesser 194
Strom, pulsierender 170
Stromquelle 12
Strom-Spannungsmesser 196
Stromstärke 13
Stromversorgungsgerät 84

Taschenlampe 53
Taschenlampenbatterie 53
Taster 121
Thermoschalter 113
Transformatorenfertigung 100
Trimmerwiderstände 109
Trockenbatterien 53, 62
Trockenelement 53
Türöffner 162

Überlandleitungen 68

Übersetzungsverhältnis 200
Überspannungen 111
Umformer 73

Verbraucher 66
Verteiler 122
Verteilerkästchen 127
Vielfachinstrument 193
Volt 43
Volta 44

Wagnerscher Hammer 180
Watt 48
Wattstunden 49
Wechselfeld, magnetisches 20
Wechselstrom 167
Wechselstromdynamomaschine 167
Wechselstromnetz 63
Weichlöten 40
Welligkeit 92
Werkstoffe 32
Werkzeug 29, 32
Wicklungen, wilde 211
Widerstand 12, 44, 102
Widerstandseinheit 46
Widerstandswert, Kennzeichnung des . . . 109

Zerhacker 202
Zinkelektrode 53
Zink-Kupfer-Element 50
Zinnlot 43
Zündspannung 69
Zweikomponentenkleber 39

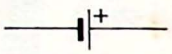
Favoriten für Hobby-Elektroniker

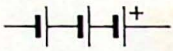
In Ihrer
Fach/Buchhandlung!

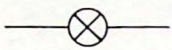
Helmut Meyer, **Elektronikschaltungen – praktisch aufgebaut**
Viel Raum ist der Beschreibung von Bauelementen, vom Widerstand bis zur integrierten Schaltung, gewidmet; im Hauptteil wird praxisnah der Aufbau von Schaltungen beschrieben, die in keinem Hobby-Labor fehlen sollten: Halbleitermeßgeräte, stabilisierte Strom-Spannungsquellen, Überwachungsschaltungen, Verstärker.
214 S., 8 Fotos, 262 Zeichng.

Rolf Birkholz, **Das große Universalspannungslabor**
Schritt für Schritt wird das Universalspannungslabor aufgebaut, wobei auf jeder Baustufe ein funktionsfähiges Gerät entsteht, das durch weitere Module ergänzt werden kann. So wird das Buch dem Anfänger gerecht, aber auch dem fortgeschrittenen Bastler, der sich ein in professioneller Einschubtechnik ausgelegtes Labor selbst aufbauen will. Die Funktionen umfassen unter anderem: Netzteil, Konstantspannungsregler, Nullspannungsnachsetzer, dualer Spannungsteiler, variable Last, elektronische Sicherung. 222 S., 16 Fotos, 119 Zeichng.

Friedhelm Schiersching,
Das große Bastelbuch: Elektronik für den Modellbahner
Die Elektronik erzeugt vorbildgetreue Geräusche, sie belebt eine Anlage durch originalgetreue Beleuchtungseffekte, sie ermöglicht raffinierte Zugsteuerungen. Friedhelm Schiersching beschreibt – zugeschnitten auf die Bedürfnisse des Modellbahners – zuerst die Grundtechniken: die Herstellung gedruckter Schaltungen, das Bestücken und Löten, die Eigenschaften und Behandlung der Widerstände, Kondensatoren und Halbleiter. 2. Aufl., 224 S., 32 Fotos, 133 Zeichng.

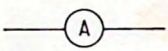

galvanisches Element, Akkuzelle


Batterie

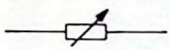

Lampe, allgemein

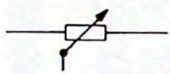
Meßinstrument, allgemein

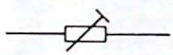
Spannungsmesser

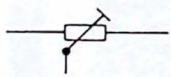

Strommesser

Widerstand, allgemein


Widerstand, einstellbar

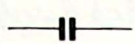

Potentiometer

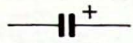

Trimmwiderstand


Trimmpotentiometer

Spule, allgemein

Spule mit HF-Eisen- bzw. mit Ferrit-Kern


Kondensator


Elektrolyt-Kondensator

Schalter

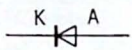
Stufenschalter

Taster mit Arbeitskontakt

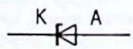
Taster mit Ruhekontakt

Transformator, Übertrager

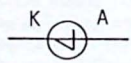
Glimmlampe



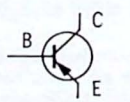
Diode



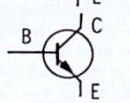
Z-Diode



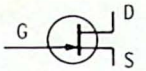
Vierschichtdiode



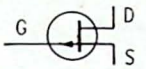
pnp-Transistor



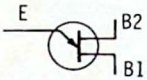
npn-Transistor



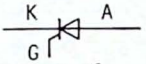
n-Kanal-FET



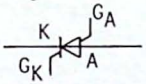
p-Kanal-FET



Unijunction-Transistor

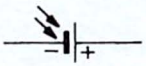


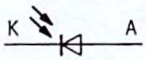
Thyristor



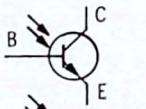
Thyristor-Tetrode

Fotowiderstand

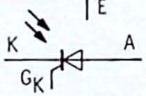

Fotoelement



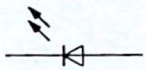
Fotodiode

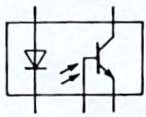


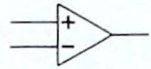
Fototransistor



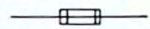
Fotothyristor


Lu nineszenz-diode


Fotokoppler

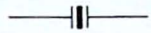


Operations-verstärker


Feinsicherung

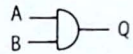
Masseanschluß

Relaiswicklung

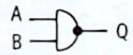

Quarz

Kopfhörer

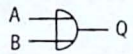
Lautsprecher



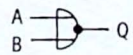
UND-Gatter



NAND-Gatter



ODER-Gatter



NOR-Gatter

Inverter

Heinz Richter
Elektrotechnik für Jungen (und Junggebliebene)

Mit dieser neuesten Auflage hat der Leser ein Buch in den Händen, das schon über 100 000 mal gekauft wurde, jetzt allerdings mit einem wesentlichen Unterschied: Die Neubearbeitung und Modernisierung ist so umfangreich ausgefallen, daß der Zusatz »völlig neu bearbeitet« notwendig wurde. Elektrotechnische und elektronische Grundlagen werden sozusagen von der Pike auf erlernt, immer durch praktische Anwendungsbeispiele ergänzt, eine Art der Darstellung, welche die Bücher Heinz Richters von jeher ausgezeichnet hat. Besonderes Augenmerk wird auf die Sicherheit gelegt; dies ist wichtig, wenn man an den interessanten Bereich der Haushaltselektrik denkt.
Stellvertretend für die Fülle des Angebotenen mag ein kleiner Abriß aus dem Inhalt stehen; es werden Themen behandelt wie: Stromquellen, Starkstrom, Sicherungen, Licht, Magnetismus, Elektromotoren, Meßinstrumente.
Elektrotechnik und Elektronik sind heute mehr denn je einem schnellen Wandel unterworfen; um so wichtiger ist es, ihre Grundlagen zu beherrschen. Dafür waren die Bücher von Heinz Richter stets hilfreich, die neue Fassung des vorliegenden Klassikers der Elektro-Bastelbücher trägt der technischen Entwicklung Rechnung.

Richter, Elektrotechn.
ISBN 3 440 05124 2